

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO



INSTITUTO DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA

PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA

UMA PROPOSTA EXPERIMENTAL PARA APLICAÇÕES DA INDUÇÃO MAGNÉTICA

Aluno: Jorge Luis Pinto Roberto

Orientadora e Doutora Prof(a): Ligia de Farias Moreira

DEZEMBRO- 2005



Dedicatória

Dedico aos meus pais e familiares;

*A minha orientadora e doutora Ligia de Farias Moreira, pois me ajudou muito na
construção deste projeto.*

*Aos funcionários da mecânica, Francisco de Sousa Oliveira, Flavio da Silva Martins e
Pedro Santos Norte.*

Aos funcionários da Biblioteca da Física e da xerox;

*Aos meus amigos que me ajudaram ao longo da minha trajetória, Luiz Carlos Jesus de
Almeida e Carlos Augusto Ramos. .*

*A todos que contribuíram na minha formação acadêmica
Meus agradecimentos, e meu muito obrigado.*

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, pois sem ele nada poderia acontecer;

Aos meus pais, por acreditar sempre em mim;

Aos meus irmãos, por estarem presente sempre nos momentos difíceis;

Ao meu filho Cauã Meireles, pois sua presença me trouxe a força necessária para chegar até aqui.

Aos meus familiares que contribuíram direta e indiretamente para o meu sucesso.

A todos os meus amigos da faculdade meus agradecimentos por me darem o apoio necessário para eu chegar neste momento ímpar.

Resumo

Este projeto de final de curso tem como objetivo utilizar experiências do Ensino Médio da indução eletromagnética, de modo a permitir que o aluno desenvolva a sua capacidade de observação e compreensão dos fenômenos eletromagnéticos.

Vale ressaltar que, neste trabalho buscou -se uma fundamentação teórica sobre atividades experimentais no ensino médio de alguns pensadores como Piaget e Vygostky. Além disso, utilizou-se como referência os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e a lei de diretrizes e bases da educação (LDB) como norteadores do processo de ensino e aprendizagem.

Construímos um trabalho simples, sem entrar muito no formalismo das equações eletromagnéticas, com intuito de tornar o ensino de indução magnética mais atraente, motivador, e compreensível do ponto de vista conceitual, através de atividades experimentais, envolvidas com o mundo social do qual o aluno faz parte. Cada experiência foi dividida em cinco etapas: Breve histórico - Apresentação do fenômeno - Observação - Análise dos conceitos – Aplicando os conceitos.

Antes de darmos início a este trabalho, para melhor conceituar o nível de ensino da indução eletromagnética distribuímos um questionário com 6 perguntas sobre fenômenos de indução eletromagnética. Fizemos uma amostra em quatro grupos de 10 pessoas abrangendo as áreas – Tecnológica – Biomédica – Humana (nível universitário) e Ensino Médio completo.

Sumário	Pág
<i>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO -</i>	<i>1</i>
<i>CAPÍTULO II – METODOLOGIA</i>	<i>4</i>
<i>2-1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA METODOLÓGICA</i>	<i>4</i>
<i>2-2 PESQUISA SOBRE O CONHECIMENTO DO TEMA</i>	<i>6</i>
<i>2-3 METODOLOGIA DA AULA</i>	<i>9</i>
<i>CAPÍTULO III – DESCRIÇÃO DAS AULAS</i>	<i>10</i>
<i>3-1 INTRODUÇÃO</i>	<i>10</i>
<i>3-2 BREVE HISTÓRICO</i>	<i>10</i>
<i>3-3 EXPERIÊNCIA I- OERSTED</i>	<i>14</i>
<i>1ª ETAPA - Apresentação do Fenômeno</i>	<i>14</i>
<i>2ª ETAPA – Observação do Fenômeno</i>	<i>15</i>
<i>3ª ETAPA – Analisando os Conceitos</i>	<i>16</i>
<i>4ª ETAPA –Aplicando os Conceitos</i>	<i>19</i>
<i>3-4- EXPERIÊNCIA II – SOLENÓIDE</i>	<i>21</i>
<i>1ª ETAPA - Apresentação do Fenômeno</i>	<i>21</i>
<i>2ª ETAPA – Observação do Fenômeno</i>	<i>22</i>
<i>3ª ETAPA – Analisando os Conceitos</i>	<i>23</i>
<i>3.4-1 MATERIAIS</i>	<i>25</i>
<i>4ª ETAPA –Aplicando os Conceitos</i>	<i>30</i>
<i>3. 5 EXPERIÊNCIA III – INDUÇÃO MAGNÉTICA</i>	<i>36</i>
<i>1ª ETAPA - Apresentação do Fenômeno</i>	<i>36</i>
<i>2ª ETAPA – Observação do Fenômeno</i>	<i>37</i>
<i>3ª ETAPA – Analisando os Conceitos</i>	<i>38</i>
<i>3.5-1 FLUXO MAGNÉTICO</i>	<i>38</i>
<i>3.5-2 A LEI DE FARADAY</i>	<i>39</i>
<i>3.5-3 A LEI DE LENZ</i>	<i>40</i>

4ª ETAPA –Aplicando os Conceitos	42
EXPERIÊNCIA IV- INDUÇÃO EM METAIS	49
1ª ETAPA - Apresentação do Fenômeno	49
2ª ETAPA – Observação do Fenômeno	50
3ª ETAPA – Analisando os Conceitos	51
4ª ETAPA –Aplicando os Conceitos	54
4. CONCLUSÃO	59
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
<i>Anexo I-Questionário</i>	62

CAPITULO I - INTRODUÇÃO

Um problema encontrado atualmente pelos professores de física é a dificuldade de se abordar o fenômeno da Indução Magnética no Ensino Médio. Na verdade, essa dificuldade se deve a vários fatores, dentre eles podemos apontar o fato dos professores disponibilizarem um período maior na apresentação da parte de eletrostática e eletrodinâmica, sendo normalmente introduzido, o magnetismo e eletromagnetismo, na turma de 3º ano do Ensino Médio, no final do período letivo, assuntos estes de vasta aplicabilidade na vida cotidiana dos alunos. Como consequência ocorre uma perda significativa das habilidades e competências a serem desenvolvidas nesta área.

Com o advento da tecnologia e da informatização nos últimos anos houve um aumento significativo de equipamentos modernos, que utilizam o magnetismo, como por exemplo: cartão magnético, os motores elétricos, as máquinas de geração de energia elétrica e outros dispositivos eletrotécnicos imprescindíveis à vida humana e a sociedade civil. No entanto, com toda essa tecnologia moderna disponível hoje no mercado, o aluno finaliza o seu Ensino Médio sem ter o mínimo de informação sobre o fenômeno de indução magnética e suas aplicações na vida diária, como foi observado pelos resultados do questionário que se encontra no anexo 1 respondido por alunos universitários das áreas tecnológicas, humanas e biomédicas, e pessoas que completaram seu Ensino Médio e estão trabalhando.

Entretanto, segundo a nova lei de diretrizes e bases (LDB) nº 9394, da educação nacional, promulgada em dezembro de 1996, no seu artigo 26 diz o seguinte:

"Os currículos do ensino fundamental e médio devem ter uma base nacional comum, a ser complementada, em cada sistema de ensino e estabelecimento escolar, por uma parte diversificada, exigida pelas características regionais e locais da sociedade, da economia e da cultura". [LDB, 1996]

De acordo com a reforma curricular do Ensino Médio as três áreas – Linguagens, Códigos e suas Tecnologias; Ciências Humanas e suas Tecnologias; Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias –, que têm como base a reunião dos conhecimentos que compartilham como objeto de estudo e, portanto, mais facilmente se comunicam, criam condições para que a prática escolar se desenvolva numa perspectiva de interdisciplinaridade.

Após a criação da nova Lei de Diretrizes e Base, em 1999, o Ministério de Educação e Cultura divulgou os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) para o Ensino Médio, o qual procura definir de forma clara e objetiva como adequar o processo de aprendizagem das disciplinas da área a esses pressupostos, com orientações para aprendizado em cada disciplina. Para todas as áreas e suas tecnologias, os objetivos devem combinar conhecimentos práticos voltados para as necessidades da vida contemporânea com conhecimentos mais amplos e específicos que correspondam a uma cultura geral e a uma visão de mundo.

A crescente valorização do conhecimento e da capacidade de inovar demanda cidadãos capazes de aprender continuamente para uma formação geral e não específica. Ao concluir, sinaliza que cada disciplina busque uma perspectiva contextualizada e interdisciplinar e que desenvolva as habilidades e competências. Citaremos alguns pontos dos (PCNs) que acreditamos serem imprescindíveis na melhoria do processo de aprendizagem na área de física.

Representação e comunicação

“Expressar-se corretamente utilizando a linguagem física adequada e elementos de sua representação simbólica. Apresentar de forma clara e objetiva o conhecimento aprendido por meio dessa linguagem.”

“Elaborar sínteses ou esquemas estruturados dos temas físicos trabalhados.”

Investigação e comunicação

“Conhecer e utilizar conceitos. Relacionar grandezas, quantificar, identificar parâmetros relevantes. Compreender e utilizar leis e teorias físicas.”

“Compreender a Física presente no mundo vivencial e nos equipamentos e procedimentos tecnológicos. Descobrir como funcionam os aparelhos. ”

“Articular o conhecimento físico com conhecimentos de outras áreas do saber científico.”

Contextualização sociocultural

“Reconhecer a Física como construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico. ”

“Estabelecer relações entre conhecimento físico e outras formas de expressão da cultura humana.”

“Reconhecer o papel da física no sistema produtivo, compreendendo a evolução dos meios tecnológicos e sua relação dinâmica com a evolução do conhecimento científico.”

[PCN, 1999]

CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA

2.1-Fundamentação Teórica Metodológica

Idéias Piagetianas

Na década de 1970, enquanto o método da descoberta mostrava suas deficiências e era gradativamente abandonado, as idéias de Piaget tornavam-se cada vez mais conhecidas e aceitas. O pensamento piagetiano deu novo alento a todos os que preconizavam a importância da atividade experimental no ensino das ciências e não se satisfaziam com as formas tradicionais de realizá-la. Além de rejeitar a idéia da atividade pela atividade, preconizada pelo movimento da Escola Nova, a teoria de Piaget não entendia essa proposta como forma de reproduzir o método científico e de redescobrir a ciência.

De acordo com a teoria de Piaget, a atividade experimental, concebida como uma interação do indivíduo com o meio, faz parte de um processo cognitivo essencial para a construção de nossas estruturas de pensamento. O cérebro humano tem uma história genética predeterminada, ou seja, as estruturas do pensamento que compõem nosso ferramental lógico surgem gradativa e seqüencialmente enquanto crescemos.

A consequência da teoria piagetiana foi trazer o foco do ensino para o aluno. A ênfase no conteúdo, preconizada pela pedagogia tradicional como pelos adeptos da Escola Nova e do processo da redescoberta, estava equivocada. Mais importante do que ensinar determinado conteúdo seria capacitar a mente para apreender esse conteúdo.

Na visão de Piaget, a atividade experimental adequadamente desenvolvida é a prática pedagógica mais relevante. [Gaspar, 2005].

A Teoria de Vigotsky e a Atividade Experimental

Geralmente, ao vincular uma prática pedagógica a uma determinada teoria, corre-se o risco de fazer extrapolações errôneas ou omitir aspectos essenciais. Além disso, uma mesma prática pode ser baseada em fundamentos teóricos diferentes. É o caso do construtivismo, que, mais do que uma prática pedagógica, talvez seja uma filosofia da educação. Uma forma de evitar possíveis equívocos ou incoerências é buscar uma teoria que fundamente nossa prática e dê respostas ou indicações a nossas questões específicas.

Se o nosso interesse são as atividades experimentais em ciências e pretendemos adotar a teoria sócio-interacionista de Vigotsky, como fundamentação teórica, é nessa teoria que devemos buscar respostas ou indicações para as questões ligadas a essa prática pedagógica. Desta forma, podemos estabelecer quatro critérios orientadores de uma pedagogia para atividades experimentais inspirada na fundamentação teórica de Vigotsky:

1º “Estar ao alcance da zona de desenvolvimento imediato do aluno.”

2º “Garantir que um parceiro mais capaz participe da atividade.”

3º “Garantir o compartilhamento das perguntas propostas e das respostas pretendidas.”

4º “Garantir o compartilhamento da linguagem utilizada.”

Em síntese, do ponto de vista vigotskiano, toda atividade experimental que proporcione as condições descritas acima é eficiente, seja ela uma atividade de demonstração realizada pelo professor, por um aluno ou um grupo de alunos para o

restante da classe, seja uma atividade realizada em pequenos grupos e simultaneamente por todos. [Gaspar, 2000]

Os PCNs e as Atividades Experimentais.

O professor deve conhecer os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) do Ministério de Educação e Cultura (MEC), destinados aos dois ciclos de ensino, Fundamental e Médio, de ciências naturais. O texto dos parâmetros é abrangente e apresenta uma orientação detalhada para o trabalho didático.

Assim, é importante que o professor de ciências use os PCNs como elemento orientador em seu planejamento de curso e busque, dentre as atividades apresentadas no livro didático, aquelas que melhor se adaptam ao planejamento.

Deve-se lembrar que os PCNs de Ciências Naturais fundamentam-se fortemente nas idéias de Piaget. A teoria de Vigotsky, por outro lado, admite práticas pedagógicas que a teoria de Piaget não recomenda, mas o oposto não ocorre, ou seja, toda prática pedagógica de inspiração piagetiana pode ser adotada numa pedagogia de inspiração vigotskiana. Basta que a ela se agregue a participação ativa e orientadora do professor ou de outro parceiro mais capaz. [Gaspar, 2005].

2.2– Pesquisa Sobre o Conhecimento do Tema

A pesquisa sobre o conhecimento do tema foi realizada com a aplicação de um questionário (ver anexo I) com seis perguntas sobre os dispositivos tecnológicos atuais e seu funcionamento. Dividimos a pesquisa em quatro grupos de 10 pessoas: Ensino Médio Completo, alunos universitários cursando a área Biomédica, Humanas e Tecnológica..

Construímos o gráfico de duas perguntas que apresentaram resultados mais significativos na investigação. Vale ressaltar que as perguntas 2 até 5 que tratam dos dispositivos eletromagnéticos obtiveram péssimos resultados. Como exemplo, uma

resposta da questão número 4, respondida por universitário da área de humanas (“Você sabe como funcionam as fitas magnéticas?”), obtivemos como resposta: “gravação magnética”, o que corresponde a uma resposta incompleta. A maioria não tem nenhuma idéia de como as funcionam coisas que utilizam diariamente.

Na área tecnológica tivemos um resultado melhor (20% de acertos) para a mesma pergunta, porém esperávamos um percentual melhor.

Fizemos o gráfico de acertos da 1ª pergunta em função dos respectivos grupos, pois os entrevistados deveriam pelo menos ter ouvido falar sobre indução magnética, fosse no Ensino Médio ou na vida cotidiana. O que nos surpreendeu foi o resultado obtido com alunos universitários das áreas humana e biomédica. O esperado só ocorreu com os alunos universitários da área tecnológica.

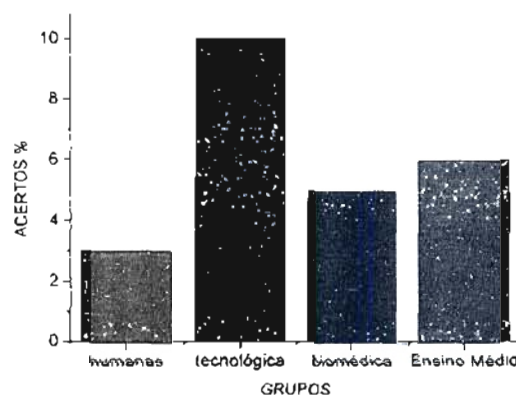


Figura 1: Acertos relativos à pergunta: Você já ouviu falar de Indução Eletromagnética? Se já, referente a que?

O gráfico relativo a 6ª pergunta (Você já ouviu falar de levitação magnética? Se já, referente a que?) se encontra abaixo. Constatamos que muitos dos entrevistados nunca ouviram falar de levitação magnética, mesmo estando na Universidade, onde se pressupõe existam pessoas mais cultas. A maior parte citou: trem bala.

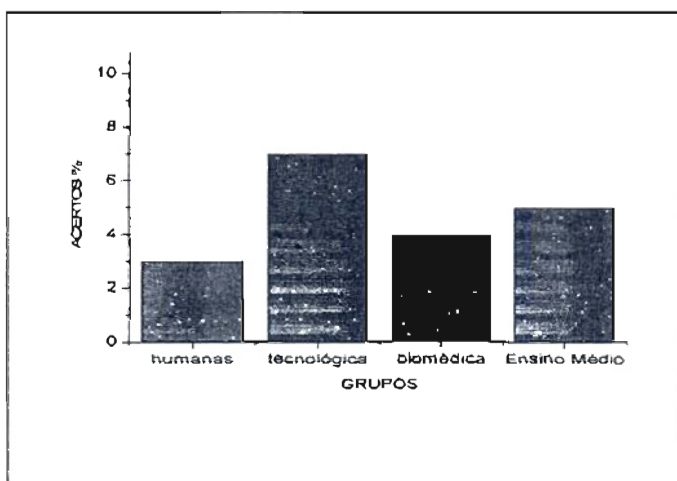


Figura 2 – Gráfico de acertos da sexta pergunta: Você já ouviu falar de levitação magnética? Se já, referente a que?

Conclusão da pesquisa

Conforme constatamos nos dois gráficos obtidos a partir das respostas dos entrevistados, observamos que, apesar da área tecnológica ter um número de acertos maior que os outros grupos, deixou muito a desejar, até porque, esses entrevistados têm um contato maior com a parte de indução eletromagnética.

Por outro lado, vale destacar que a área de humanas teve um percentual mínimo de acertos, ou seja, os entrevistados nunca ouviram falar do fenômeno de indução eletromagnética e seus dispositivos tecnológicos. Isso nos mostra que as pessoas não têm um mínimo de interesse em buscar informações do que está ocorrendo a sua volta.

Concluimos também que, embora tenhamos uma infinidade de informações através de jornais e revistas, da Internet e do mundo globalizado, de experimentos montados em museus e espaços científicos, ainda assim, as informações não chegam à maioria das pessoas.

2.3- Metodologia da Aula

A metodologia aplicada na aula experimental foi iniciada por um breve histórico sobre o fenômeno de indução eletromagnética, citando para a turma algumas descobertas tecnológicas que transformaram o mundo contemporâneo e científico e como elas foram desenvolvidas ao longo do tempo.

Uma vez feito este breve histórico com a turma, iniciamos o desenvolvimento de etapas que estabelecemos como parte do processo pedagógico e didático.

Na primeira etapa apresentamos o fenômeno / (experiência).

Na segunda etapa, fizemos com que a turma observasse o fenômeno e depois descrevesse o que observaram e como explicariam o fenômeno (Avaliação diagnóstica)

Na terceira etapa fizemos as análises dos fundamentos teóricos inerentes a cada experiência.

Na quarta etapa aplicamos os conceitos apresentando outros experimentos que envolvam o mesmo fenômeno (Avaliação formativa).

As atividades foram desenvolvidas no Colégio Pedro II, na prática de Ensino, em turmas do 3º ano do Ensino Médio em três aulas de 1:20 h.

CAPÍTULO 3 – DESCRIÇÃO DAS AULAS

3.1 INTRODUÇÃO

Toda experiência científica tem uma hipótese que a justifica. O material e o procedimento adotados são escolhidos em função dessa hipótese. Por exemplo, ninguém usa um termômetro se não pensa em medir a temperatura, ou um cronômetro se não pensa em medir tempo.

Às vezes a hipótese levantada não se confirma. Os cientistas, assim, não encontram o que esperavam. Nesse caso, depois de repetir o experimento até se convencerem de que a hipótese investigada está mesmo errada, ou seja, ela não é confirmada pelos fatos observados, os cientistas começam a buscar novas explicações, novas hipóteses que justifiquem esses fatos. Portanto, **o objetivo da hipótese é responder as perguntas nascidas do experimento.**

A observação de novos fatos resultantes de experimentos pode dar origem a perguntas, não a respostas. É comum a explicação de um resultado experimental ser formulada por um pesquisador teórico que tomou conhecimento do problema geralmente pela leitura de artigos científicos. Se as hipóteses que explicam um fenômeno fossem consequência imediata de sua observação, todo pesquisador que realizasse uma experiência seria capaz de formular a justificativa teórica para os fatos observados. [Gaspar, 2000]

3.2- BREVE HISTÓRICO

A construção da primeira pilha (Volta, 1700) permitiu obter correntes de longa duração. A partir desse momento, as pesquisas com a eletricidade dinâmica tomaram grande impulso, com diversas descobertas, que de certa forma, revolucionaram o mundo científico e tecnológico.

Em 1820, o físico dinamarquês Hans Cristian Oersted fez uma descoberta que marcou o nascimento do eletromagnetismo. Ele observou que uma bússola, localizada perto de um fio condutor, tem sua direção alterada quando, por esse fio, passa uma corrente elétrica. [Guimarães,2001].

O fato de uma corrente elétrica gerar um campo magnético levou os cientistas do século XIX a imaginar se o oposto também não ocorreria, ou seja, será que um campo magnético pode gerar uma corrente elétrica? Eles descobriram que sim. Quase que simultaneamente, Faraday, Henry e Lenz mostraram, no início da década de 1830, sob que condições um campo magnético é capaz de gerar uma corrente elétrica. Enunciaram, então, de modos diferentes, o princípio do que hoje denominamos a indução eletromagnética.

O fenômeno de indução eletromagnética, descoberto pelo inglês Michael Faraday em 1831, é um dos acontecimentos mais importante de toda a história da ciência. Graças a ele podemos, por exemplo, gerar energia elétrica em usinas hidrelétricas, reproduzir os sinais gravados em fitas de áudio ou vídeo e em cartões magnéticos, reproduzir um disco convencional usando uma cápsula magnética, usar um microfone dinâmico e um forno de indução e outras aplicações tecnológicas. [Gaspar, 2000]

Como Newton, Maxwell utilizou o trabalho de físicos anteriores, particularmente de Coulomb, Gauss, Faraday e Ampère reunindo e organizando todo o conhecimento adquirido até sua época. Todas as conclusões a que Maxwell chegou foram fundamentadas num simples conjunto de quatro equações. Porém sabemos que Maxwell utilizou uma matemática avançada para criar essas equações, que não seria possível introduzirmos no presente trabalho, de modo que apresentaremos apenas suas descrições:

I- Lei de Gauss para o Campo Elétrico

O fluxo do campo elétrico através de uma superfície fechada no vácuo é igual à soma das cargas internas à superfície dividida pela permissividade elétrica do vácuo.

$$\Phi_e = q / \epsilon_0$$

II - Lei de Gauss para o Campo Magnético.

$$\Phi_m = 0$$

Embora existam centros isolados de carga (prótons e elétrons, por exemplo), não parece que existam centros isolados de magnetismo ("monopólios magnéticos") na natureza, de maneira que o fluxo do campo magnético através de uma superfície fechada é nulo.

III- Lei de Ampère generalizada.

Uma corrente elétrica de intensidade i e/ou variação do fluxo do campo elétrico de uma linha fechada é igual ao fluxo do campo magnético através de uma superfície limitada por essa linha. Em outras palavras, um campo magnético pode ser criado tanto por uma corrente elétrica como pela variação do fluxo de um campo elétrico.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$

IV- Lei de Faraday

A variação do fluxo do campo magnético, com o tempo, gera um campo elétrico ou uma força eletromotriz induzida. É a lei de Faraday, com o sinal negativo da lei de Lenz que será vista de forma simplificada. [Gaspar,2000].

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = R i$$

Portanto, essas quatro equações de Maxwell, não só fundamentam a existência de ondas eletromagnéticas como permitem determinar a velocidade dessas ondas num meio, a partir das propriedades magnéticas desse meio. Assim, a velocidade (c) de propagação de ondas eletromagnéticas no vácuo pôde ser determinada, a partir de uma equação de Maxwell, pela relação.

$$c = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (\text{a velocidade escalar da luz}) \quad (1)$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m/A} \quad (\text{permeabilidade magnética})$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N.m}^2 \quad (\text{permissividade elétrica})$$

Substituindo esses valores nessa expressão, obtemos o valor da velocidade da luz no vácuo: $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Maxwell já esperava esse resultado porque Weber já havia obtido valor semelhante antes. Esse resultado confirmou a idéia de que a luz é uma onda eletromagnética. Dessa forma, o estudo da luz passou a integrar o eletromagnetismo, ampliando a síntese iniciada com a descoberta de Oersted.

Pode-se afirmar que as ondas eletromagnéticas são análogas às ondas mecânicas que se propagam em meios materiais a partir de fontes oscilantes, como o som que se propaga pelo ar a partir da oscilação de uma lâmina vibrante. Mas, ao contrário, das ondas mecânicas, as ondas eletromagnéticas não precisam de meio para se propagar através do espaço.

Utilizando os conceitos de onda é possível fazer uma analogia de uma onda mecânica transversal com a oscilação do vetor campo elétrico \vec{E} ou com a oscilação do vetor campo magnético \vec{B} .

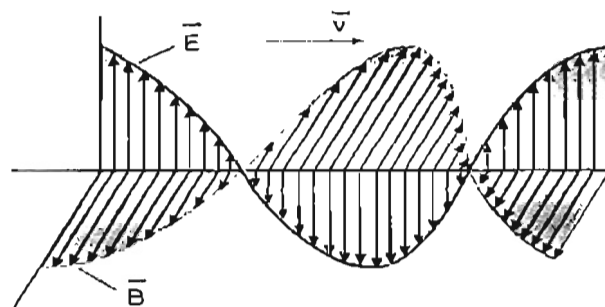


Figura 3 – Ondas Eletromagnéticas propagando-se para a direita. [Maximo, 2000]

3-3 – EXPERIÊNCIA I – OERSTED

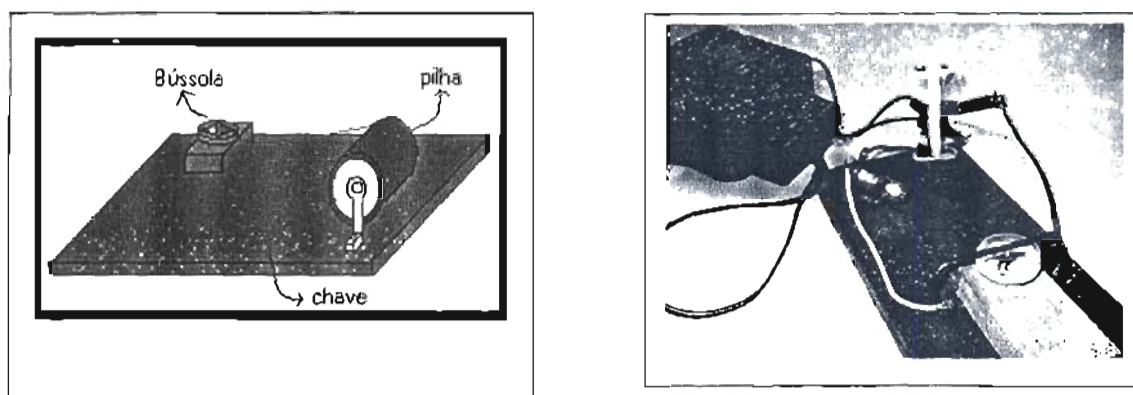


Figura 4. a) esquema b) foto da experiência de Oersted montada com eliminador de pilha variando de 1,5 a 12V.

1ª Etapa – Apresentação do Fenômeno.

Colocamos uma fonte de tensão variável (eliminador de pilha), ligamos a chave e variamos as voltagens da fonte.

2ª Etapa – Observação do Fenômeno.

Neste momento buscamos desenvolver a capacidade da turma de utilizar o raciocínio lógico, através de algumas perguntas a respeito do fenômeno. Pedimos a turma que usasse correntes contínuas com fontes variáveis de 1.5V, 3.0V, 4.5 V, 6.0 V, 9.0 V e 12V e anotem os respectivos desvios da bússola (em ângulos, aproximadamente).

1) O que aconteceu com a bússola?

Resposta: A maioria da turma respondeu que a bússola se mexeu. E que o ângulo de inclinação aumentava com o aumento da voltagem.

2) Por que uma bússola normalmente se mexe?

Resposta: A maioria da turma respondeu que é devido ao campo magnético terrestre. Responderam que a agulha da bússola aponta para o norte. Ficou claro que não costumam associar o movimento da bússola com ímãs.

3) Perguntamos, então, o que havia causado o movimento da bússola, na experiência?

Resposta: Responderam que deveria ser por causa da corrente, mas não souberam responder como. Eles não associaram a corrente que passava com a geração de um campo magnético.

4) O que acontece quando invertemos a polaridade da bateria?

Resposta: A maioria da turma respondeu que a bússola inclinou para o outro lado, poucas pessoas responderam que a corrente havia se invertido. Outros não

responderam nada. Ficou claro que os alunos não fizeram associação com a inversão da corrente quando invertemos a polaridade da bateria.

3º etapa – Analisando os Conceitos

As descobertas de Oersted, Faraday e outros mostraram que, embora não exista nenhuma interação entre ímãs e cargas elétricas estáticas, quando cargas elétricas estão em movimento a interação ocorre, isto é, cargas em movimento geram campo magnético.

As experiências de Oersted mostraram, também, que um condutor percorrido por corrente elétrica gera um campo magnético ao seu redor, cuja configuração tem características especiais. Porém, vale ressaltar que foi Ampère que observou que o campo magnético era circular ao redor do fio. (Ver figura 5) [Gaspar, 2000]

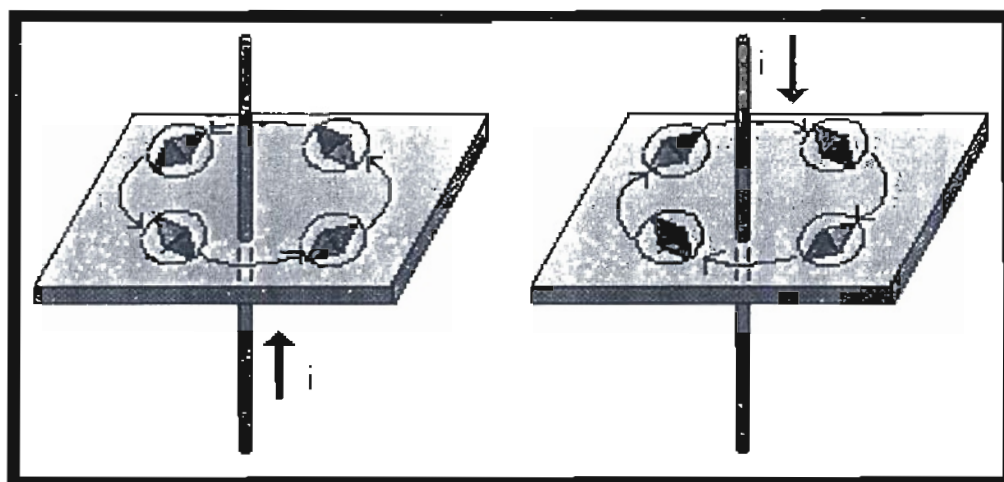


Figura 5: As agulhas das bússolas mostram a configuração circular do campo magnético gerado por um condutor retilíneo vertical percorrido por uma corrente elétrica i .

Portanto, podemos concluir que as agulhas da bússola mostram que as linhas de campo magnético geradas pelo condutor retilíneo, quando percorrido por uma corrente elétrica são circunferências contidas em planos perpendiculares ao condutor e com centro neste.

Lei de Biot - Savart

A descrição matemática dos fenômenos eletromagnéticos não é elementar, mas é possível apresentar suas leis de forma simplificada. É o caso da lei de Biot- Savart e da Lei de Ampère, que permitem a determinação do módulo do vetor do campo magnético gerado por uma corrente elétrica.

A lei de Biot - Savart permiti a determinação do vetor do campo magnético B num ponto P , considerando elementos muito pequenos de um condutor (ΔL) percorrido por uma corrente elétrica de intensidade i . Cada um dos elementos (ΔL) gera um vetor campo magnético (ΔB).

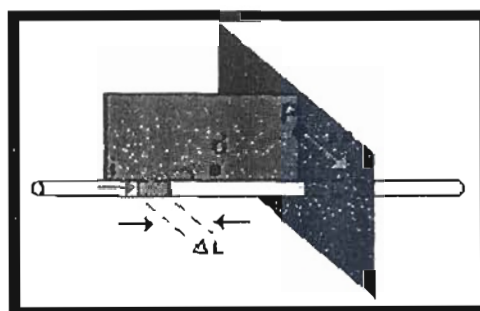


Figura 6: Mostra o vetor campo magnético gerado pelo elemento pequeno de um condutor.

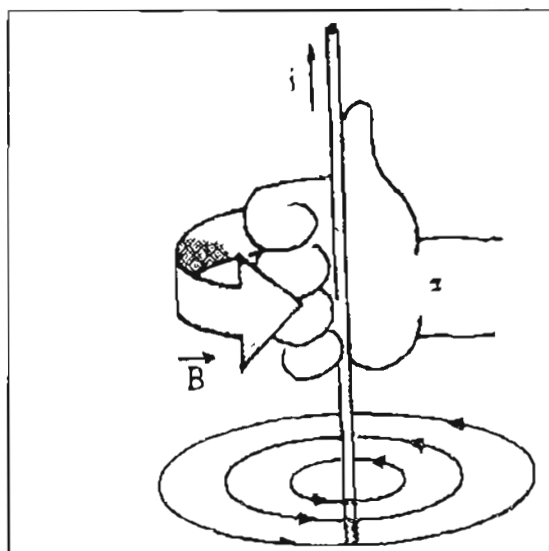


Figura 7: regra da mão direita [GREF, 2000]

Sendo d a distância do segmento ΔL ao ponto P , o módulo do campo magnético ΔB é dado pela expressão:

$$\Delta B = \frac{\mu_0 i \Delta L \sin \Theta}{4\pi d^2} \text{ (Lei de Biot – Savart) } \quad (2)$$

O termo μ_0 é chamado de permeabilidade magnética no vácuo. A direção e o sentido do campo magnético é dado pela regra da mão direita para o campo gerado por um condutor retilíneo.

Lei de Ampère

Ampère percebeu a consequência da lei de Biot-Savart, isto é, que a uma determinada distância d , em qualquer direção, o campo magnético era o mesmo e formulou a lei mais geral, a lei de Ampère, que permite a determinação do módulo do vetor \mathbf{B} num ponto P à distância r de um condutor retilíneo de comprimento infinito, percorrido por uma corrente elétrica contínua de intensidade i . O módulo do vetor campo magnético é dado pela seguinte relação:

$$|B| = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \quad (3)$$

B = é o módulo do campo magnético;

μ_0 = permeabilidade magnética do vácuo; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m/A}$

r = distância ao centro do condutor;

A direção e o sentido do vetor campo magnético são dados pela regra da mão direita, lembrando que o vetor \mathbf{B} é sempre tangente às circunferências imaginárias descritas em torno do condutor. [Gaspar, 2000]

Força sobre Condutores percorridos por Corrente Elétrica

Considere um fio retilíneo longo de comprimento L , transportando uma corrente elétrica contínua de intensidade i e imerso num campo magnético uniforme \mathbf{B} , cujo vetor

campo magnético forma um ângulo θ com a direção do condutor. Esse condutor sofrerá a ação de uma força magnética F cujo módulo é dado pela expressão:

$$F = i \cdot L \cdot B \cdot \sin \theta \quad (4)$$

Como o sentido convencional da corrente é o mesmo do movimento das cargas positivas, por convenção, podemos utilizar, para determinar o sentido da força magnética F , a regra da mão direita e a direção da força é sempre perpendicular ao plano que contém campo magnético B e o condutor com corrente i . [Halliday, 1996]

4º Etapa – Aplicando os Conceitos.

Interação Eletromagnética sobre os Condutores

Resumindo, vimos na parte acima que um condutor imerso num campo magnético sofre a ação de uma força, e um condutor percorrido por uma corrente elétrica gera um campo magnético.

Por isso, dois condutores próximos, percorridos por correntes elétricas, podem interagir, pois ambos geram e são afetados por campo magnéticos.

Considere dois condutores paralelos entre si, e de comprimentos infinitos, cuja distância entre eles é d . Nesta situação, analisaremos duas situações possíveis:

- a) Condutores paralelos percorridos por correntes elétricas de sentidos iguais.

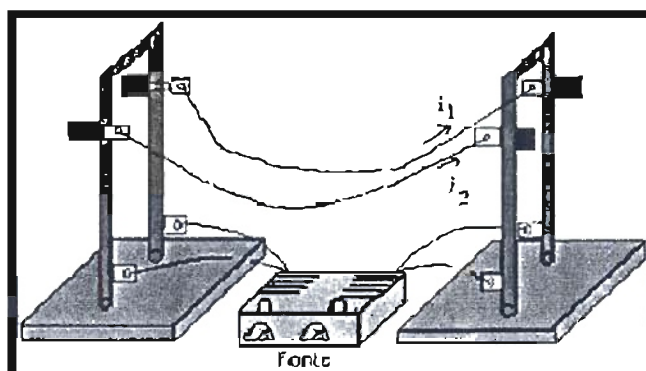


Figura 8a: Esquema de dois fios condutores paralelos percorridos por correntes de sentidos iguais onde observamos a atração dos condutores.

b) Condutores paralelos percorridos por correntes elétricas de sentidos opostos.

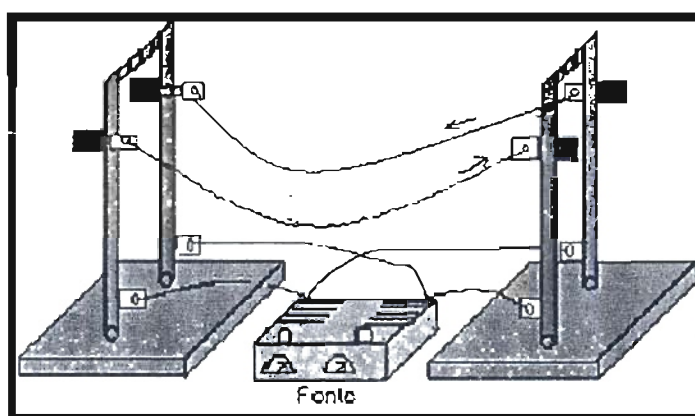


Figura 8b: Esquema de dois fios condutores paralelos percorridos por correntes de sentidos opostos na qual os fios se repelem.

Sistemas blindados, em computadores, representam uma solução mais simples, como os cabos coaxiais, ver figura 9, porque reduz significativamente a interferência devido ao ruído de fontes externas o que torna um fator adicional importante em sistemas de altas taxas de transmissão e que operam em frequências altas.

[<http://www.siemon.com/br/whitepapers/10G-Assurance.asp>]

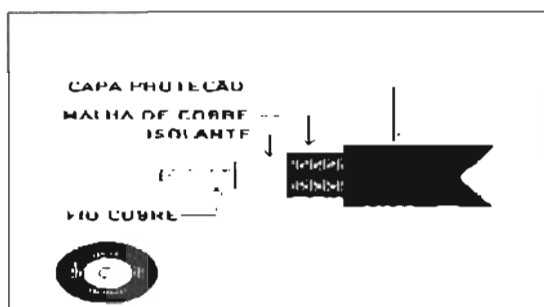


Figura 9 - Cabo coaxial

[<http://www.energibras.com.br/inicial1.asp>, 2005]

A blindagem está se tornando importante em ambientes em que há níveis de ruído e também para sistemas com requisitos banda larga. Por exemplo, sistemas blindados, são preferidos em redes industriais devido ao ruído extremo como aquele gerado por motores, servomecanismos, transformadores e outros equipamentos e sistemas de alta potência.

3-4 EXPERIÊNCIA II – SOLENÓIDE

1º Etapa – Apresentação do Fenômeno

Nesta etapa apresentamos duas experiências.

a) Solenóide percorrido por uma corrente.

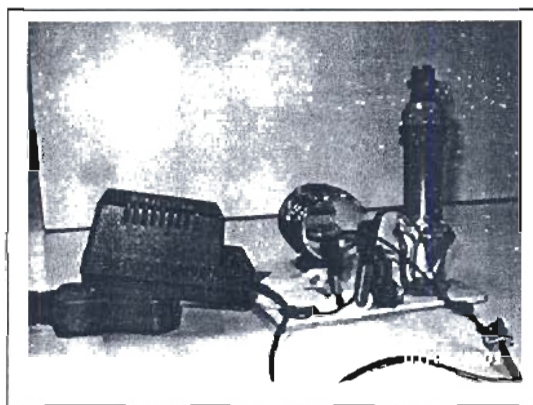
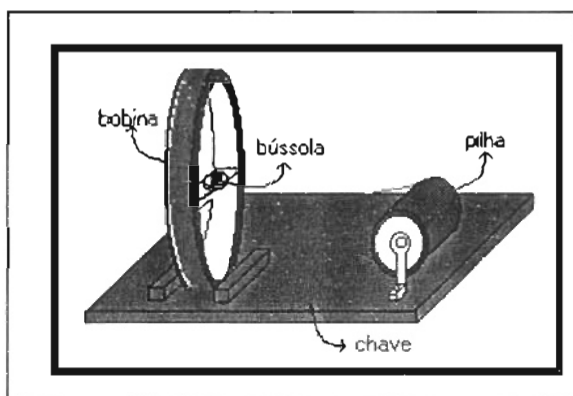


Figura 10: a) esquema de montagem

b) Foto do experimento de solenóide percorrido por uma corrente elétrica utilizando fonte de tensão variável

b) Solenóide percorrido por uma corrente com núcleo de ferro.

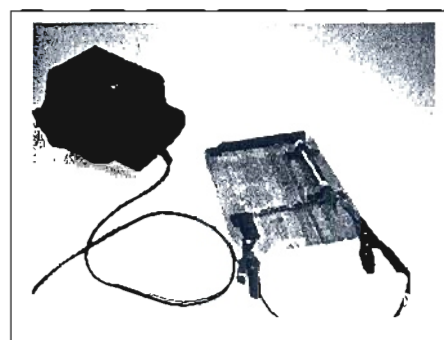
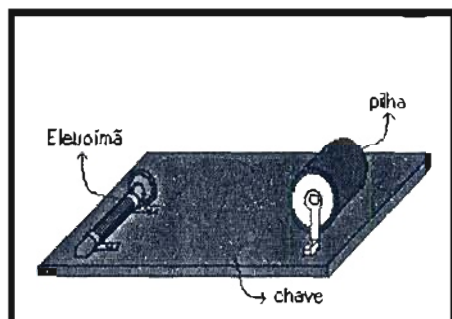


Figura 11 a) Mostra a montagem de um eletroímã.

B) telégrafo rudimentar com uma fonte de tensão variável para variar a voltagem

2º etapa – Observação do fenômeno

1) O que aconteceu com a bússola na primeira experiência, para valores de voltagem diferentes?

Resposta: A maioria da turma respondeu que a bússola se mexeu bem mais rápido e bem mais forte à medida que aumentamos a voltagem. Já conseguiram fazer a associação da voltagem com a corrente e por consequência com o movimento da bússola.

2) A que fator está associado o movimento da agulha da bússola?

Resposta: Disseram que era devido a corrente elétrica que passava no solenóide e que criava um campo magnético, por associação com a experiência anterior.

3) O que acontece quando invertemos a polaridade da bateria?

Resposta: Algumas pessoas responderam que a direção do campo magnético havia se invertido. Outros responderam que a corrente elétrica inverteu e por isso a agulha da bússola mudou de direção.

4) Ao colocarmos um núcleo de ferro dentro do solenóide o que acontece com o núcleo de ferro?

Resposta: a maioria da turma respondeu que o ferro se magnetizou dentro do solenóide, pois passou a atrair pedaços de metal.

5) Ao reduzimos gradativamente a corrente elétrica, o que acontece com o campo magnético no ferro?

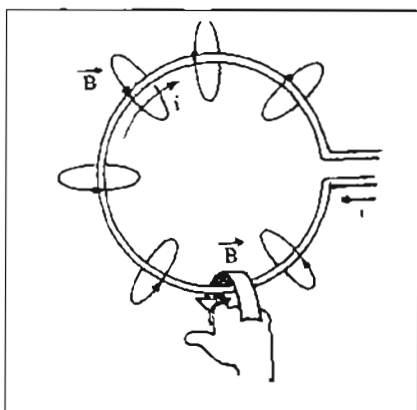
Resposta: A maioria da turma respondeu que o campo magnético do ferro também reduzia, já que não atraía o metal com tanta força.

Ficou claro que os alunos não costumavam a relacionar um núcleo de ferro dentro do solenóide com aumento das linhas de campo magnético. Só perceberam que o ferro ficava imantado, pois colocamos pedaços de metal próximo.

3º etapa – Analisando os Conceitos

Uma espira circular percorrida por uma corrente de intensidade i gera, no centro da espira, um campo magnético retilíneo perpendicular ao plano da figura, cujo vetor campo magnético \mathbf{B} tem direção e sentido dados pela regra da mão direita. Consideremos então, um conjunto de espiras enroladas lado a lado, o que constitui um solenóide ou uma bobina.

Assim, se a bobina tiver N espiras, o módulo do vetor campo magnético no centro será a soma vetorial dos campos criados por cada uma de suas espiras dada por:



$$B_b = \frac{\mu_o Ni}{2r} \quad (5)$$

Figura 12 – Campo Magnético gerado por uma espira [GREF, 2000]

Se o comprimento L do solenóide for muito grande, o campo magnético no seu interior é praticamente uniforme, ou seja, o vetor campo magnético do solenóide é constante em qualquer ponto e, nessas condições, o módulo do vetor campo magnético do solenóide é dado pela relação.

$$B = \frac{\mu_o i N}{L} \quad (6)$$

Onde :

L = comprimento do solenóide

N = números de espiras

Representamos a fração N/L por n , números de espira por unidade de comprimento. Desta forma, a relação de B torna-se, então:

$$B = \mu_o n i \quad (7)$$

A equação acima vale com boa aproximação para solenóides reais quando aplicadas somente a pontos internos próximos ao centro do solenóide, considerando o comprimento do solenóide infinitamente longo, é consistente com o fato experimental de que B não depende do diâmetro ou do comprimento do solenóide e de que B é constante

sobre a seção transversal do solenóide. [Gualter & André, 2001]

3.4-1 Materiais

Quando um campo magnético atua em um meio material qualquer, este meio sofre uma modificação e dizemos que ele se imanta ou se magnetiza. Para entendermos o que consiste esta imantação, devemos nos lembrar que, no interior de qualquer substância, há correntes elétricas elementares, constituídas pelos movimentos dos elétrons nos átomos destas substâncias. Estas correntes elementares criam pequenos campos magnéticos, de modo que cada átomo pode ser considerado um pequeno ímã, isto é, um ímã elementar.

No interior de um material em seu estado normal (não-magnetizado), estes ímãs encontram-se orientados de maneira aleatória de modo que os campos magnéticos criados pelos átomos do material tendem a se anular.

Deste modo, abordaremos as reações de diferentes matérias quando aplicado um campo magnético externo. [Máximo, 2000].

Materiais Diamagnéticos e Paramagnéticos

O magnetismo é inseparável da mecânica quântica, porque num sistema estritamente clássico em equilíbrio térmico não pode apresentar momento magnético. O momento magnético de um átomo livre possui três origens principais: o spin com o qual o elétron é dotado, o momento orbital em torno do núcleo e a variação no momento orbital induzida pela aplicação do campo magnético. Os dois primeiros efeitos fornecem contribuições paramagnéticas para a magnetização; o terceiro fornece uma contribuição diamagnética.

Entretanto, experiências realizadas pelos cientistas mostraram que a presença de grande parte das substâncias existentes na natureza provoca alteração muito pequena no campo magnético. Materiais tais como o papel, o cobre, o alumínio, o chumbo, etc, se comportam desta maneira, sendo este o motivo pelo qual não conseguimos construir ímãs com estes materiais.

Outras substâncias podem se transformar em ímãs. Uma análise mais cuidadosa permitiu verificar que estas substâncias podem ser separadas em três grupos distintos:

- **Substâncias Paramagnéticas**

Nestas substâncias, os ímãs elementares tendem a se orientar no mesmo sentido do campo magnético aplicado e, portanto, o campo magnético estabelecido por elas terá o mesmo sentido deste campo aplicado, de modo que o campo resultante seja um pouco maior do que o inicial. O magnésio, a platina, o sulfato de cobre etc. são exemplos conhecidos de materiais paramagnéticos. Em geral estas substâncias são ímãs temporários e só funcionam como tal quando submetidos a um campo magnético.

- **Substâncias Diamagnéticas**

Estas substâncias, ao serem colocadas em um campo magnético externo, têm seus ímãs elementares orientados em sentido contrário ao do campo magnético aplicado. Desta maneira, elas estabelecem um campo magnético em sentido contrário ao deste campo aplicado, fazendo com que o campo resultante tenha valor um pouco menor do que o inicial. Podemos citar, como exemplos típicos de substâncias diamagnéticas, o bismuto, o cobre, a água, a prata, o ouro, o chumbo etc.

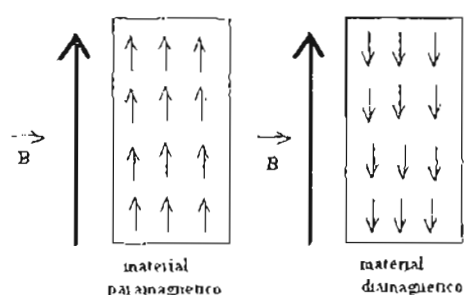


Figura 13 – Materiais paramagnéticos se alinham na direção do campo aplicado e os diamagnéticos na direção contrária.

- **Materiais Ferromagnéticos**

Um pequeno grupo de substâncias na natureza apresenta um comportamento bastante diferente daqueles que acabamos de descrever. Estas substâncias, denominadas substâncias ferromagnéticas, apresentam campo magnético intrínseco, e ao serem colocadas num campo magnético externo, se imantam fortemente, de modo que o campo magnético que elas estabelecem é muitas vezes maior do que o campo aplicado. Verifica-se que, em virtude da presença de uma substância ferromagnética, o campo magnético pode se tornar centenas e até mesmo milhares de vezes maiores em relação ao campo magnético inicial.

As substâncias ferromagnéticas são apenas o ferro, o cobalto, o níquel, e as ligas que contêm estes elementos. Esta propriedade das substâncias ferromagnéticas é aproveitada quando desejamos obter campos magnéticos de valores elevados ou construirmos ímãs permanentes.

- **Materiais Antiferromagnetismo**

O antiferromagnetismo e o ferrimagnetismo são propriedades semelhantes entre si, de natureza mais complexa. São exemplos destes materiais o cromo, o manganês e, particularmente, a ferrita, substância constituída por materiais ferromagnéticos e diversos óxidos de níquel, de cobalto, de zinco, entre outros. Essa propriedade permite dar ao material formas de magnetização previamente projetadas para a constituição de componentes eletrônicos específicos. [Kittel, 1978]

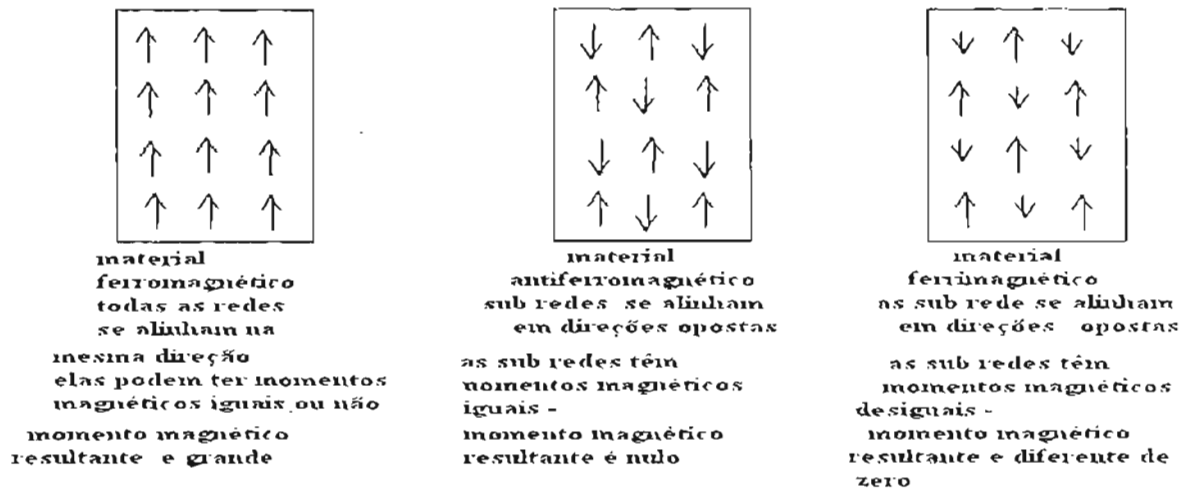


Figura 14 – Materiais com momentos magnéticos

- **Curva de Magnetização e Histerese Magnética**

Uma vez que os materiais possuem características magnéticas não lineares, são necessárias ferramentas gráficas que auxiliem à descrição dessas características. As duas características mais importantes são conhecidas com a curva B versus H (vetor de magnetização), e o ciclo de histerese.

A curva B-H é o resultado das diferentes mudanças de orientações dos domínios magnéticos do material. Os materiais ferromagnéticos são constituídos por pequenas regiões, as quais são denominadas de domínios magnéticos. Em cada uma dessas regiões os dipolos são espontaneamente alinhados. Quando o material se encontra completamente desmagnetizado, estes domínios têm uma orientação aleatória apresentando a rede de domínios uma densidade de fluxo nula.

O gráfico abaixo mostra a curva característica de B-H [Gleb Wataghin, 1974]

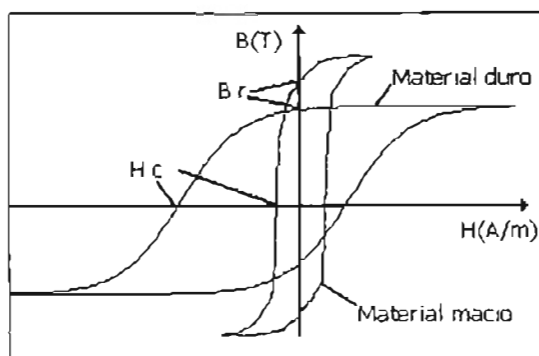


Figura 15. A curva de magnetização padronizada. A força coerciva H_c é o campo inverso necessário para fazer a indução B se anular; a remanência B_r é o valor de B para $H = 0$

[<http://www-seme.dee.fct.unl.pt/ProjectoRodolfoOliveira/RelatorioFinal.pdf>, 2005]

A partir do gráfico acima percebemos que quanto mais estreita a curva de magnetização menor é a memória magnética do material, ou seja, menor o magnetismo residual por ele adquirido (materiais soft).

O ciclo na qual há um pequeno resíduo magnético é característicos de materiais utilizados em grandes aplicações tecnológicas como os eletroímãs, relés e transformadores.

Mas, materiais com ciclo de histerese largo têm memória magnética muito resistente. Não se magnetizam facilmente, porém dificilmente perdem a magnetização adquirida. São materiais adequados para componentes de computadores (memórias e discos rígidos), disquetes, fitas cassetes e tarjas de cartões magnéticos.[Gaspar, 2000].

Vale ressaltar também, que para cada substância ferromagnética existe uma temperatura T_c , "chamada temperatura crítica de Curie", tal que para $T > T_c$ as propriedades ferromagnéticas da substância torna-se paramagnética. Há cinco elementos químicos (Fe, Co, Ni, Gd, Dy) e muitas outras ligas destes e outros elementos gozam da propriedade de ferromagnetismo abaixo das respectivas temperaturas de Curie. [Gleb Wataghin, 1974]

4º Etapa – Aplicando os Conceitos

Eletroímãs

Sabemos que um ímã natural tem a propriedade de atrair objetos que se magnetizam. O eletroímã é uma espécie de ímã artificial, uma vez que também pode atrair materiais magnéticos. A diferença básica entre o ímã natural e o eletroímã é que o ímã produz atração permanente sobre materiais magnetizáveis, ao passo que o eletroímã só pode atrair este tipo de material quando uma corrente elétrica passa na bobina do respectivo eletroímã, tornando seu núcleo um ímã.

O eletroímã é constituído por um núcleo paramagnético apropriado em torno da qual enrola-se uma bobina condutora. Os eletroímãs podem ser utilizados para elevar pesos, para acionar freios magnéticos, para acionar alto-falantes, etc. Existem eletroímãs muito pequenos (como por exemplo, os eletroímãs utilizados em pequenos relés e em eletrônica), ou eletroímãs muito grande, como os utilizados em equipamento industriais pesados.

Os eletroímãs são dispositivos fundamentais para muitas aplicações práticas, tais como, campainhas, relés eletromagnéticos e transdutores eletromagnéticos de um modo geral.

Quando enrolamos um prego de ferro com um fio de cobre esmaltado, teremos um solenóide com núcleo. Ligamos os terminais do solenóide aos de uma pilha, estabelecemos nele uma corrente elétrica que, como sabemos, cria um campo magnético.

Esse campo magnético organiza os domínios magnéticos do ferro, fazendo surgir neste um campo magnético, aumentando o campo magnético induzido pela corrente.

Aplicações dos eletroímãs

1- Campainha Elétrica

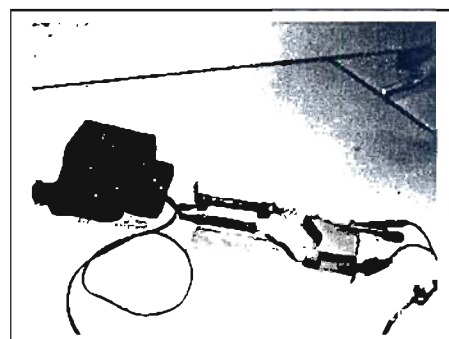
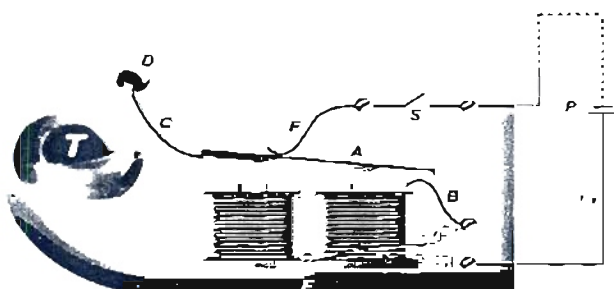


fig16..a) Esquema de uma campainha elétrica (http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/electricidade/basico/cap14/cap14_14.php) b) foto do experimento montado

A campainha consta de um eletroímã E, cuja armadura A tem uma extremidade presa a uma mola de aço flexível B e a outra extremidade a uma haste C que mantém na ponta uma esfera D. A mola B obriga a armadura a ficar em contato com uma placa metálica F. A corrente é fornecida por uma pilha P.

Quando se fecha a chave S a corrente segue o seguinte caminho: eletroímã, mola B, armadura A, placa F, chave S e volta à pilha. Mas, logo que a corrente passa, acontece o seguinte:

- 1º - o eletroímã atrai a armadura; esta leva consigo a haste C, e a esfera D bate no tímpano T ;
- 2º - quando a armadura é atraída, ela se afasta da placa F e o circuito se abre;
- 3º - com o circuito aberto, cessa a atração sobre a armadura, e a mola B leva novamente a armadura em contato com F;
- 4º - então o circuito se fecha, e tudo se repete. Assim, enquanto a chave S permanecer fechada, a esfera D alternadamente bate no tímpano e recua. Essa chave S é o que vulgarmente chamamos o "botão" da campainha; quando apertarmos o botão, estamos fechando o circuito.

C-Eletroímã Gigante

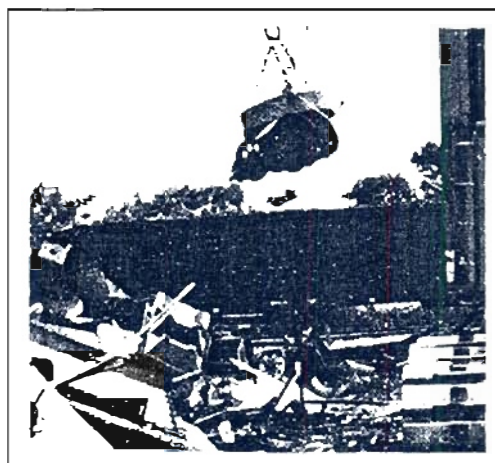


Figura 16-c. Eletroímã gigante utilizado em seleção e transporte de sucata de ferro.
[Gaspar, 2000]

2- Fone de Telefone

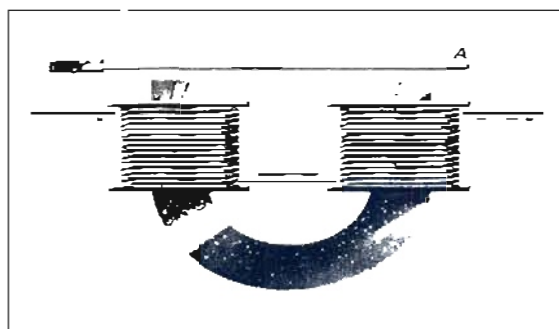


Figura 17. Eletroímã e uma armadura delgada do fone de telefone
http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/elettricidade/basico/cap14/cap14_14.php.2005

O fone (a parte do telefone por onde ouvimos) também é um eletroímã, cuja armadura A é uma lâmina muito delgada. A corrente i chega ao eletroímã vinda do microfone de um outro telefone, no qual há outra pessoa falando. Essa corrente é variável; ela acompanha as variações da voz da pessoa que está falando no outro telefone. À medida que a corrente varia, a atração do eletroímã sobre a armadura A também varia, e a armadura vibra. Essas vibrações produzem som no outro telefone que faz variar a corrente i .

3- O Microfone e o Alto-Falante

Investigaremos agora o microfone e o alto –falante que são os dois extremos do sistema de comunicação sonora. O microfone transforma a vibração mecânica, o som, em corrente elétrica e o alto- falante, ou fone, realiza essa transformação em sentido inverso.

No microfone, o princípio básico consiste em associar variações de intensidade de corrente a variações de pressão do ar, que se constitui no próprio som. Isso pode ser obtido de várias formas. No microfone de indução, as variações de pressão do ar movimentam uma bobina que está sob ação de um campo magnético produzido por um ímã permanente. Nesse caso, com o movimento, surge na bobina uma corrente elétrica induzida.

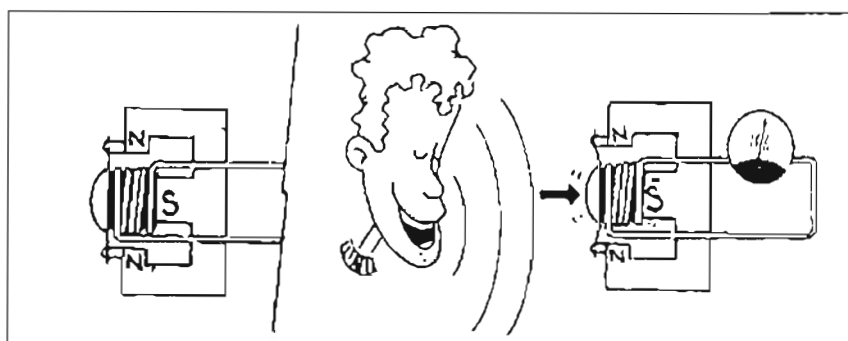


Figura 18 – Microfone de indução [GREF, 2000]

A corrente obtida no microfone, que representa o som transformado, é do tipo alternada e de baixa frequência. No alto-falante esta corrente elétrica é transformada em vibrações mecânicas reconstituindo o som inicial, através do uso de uma bobina, um cone (em geral de papelão) e um ímã permanente ou um eletroímã. Quando a corrente elétrica, que representa o som transformado, se estabelece na bobina do alto-falante, pelo fato de ela estar sob a ação de um campo magnético criado pelo ímã (ou pelo eletroímã), a bobina com corrente fica sob a ação de forças e entra em movimento.

Como a bobina e o cone estão unidos quando ela entra em movimento, as vibrações mecânicas do cone se transferem para o ar, reconstituindo o som que atingiu o microfone.

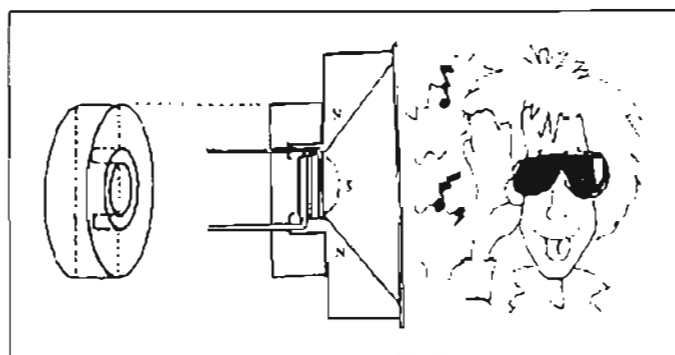


Figura 19 – Visão lateral de um alto-falante e o núcleo de ferro com visão tri-dimensional [GREF,2000]

4- Telégrafo

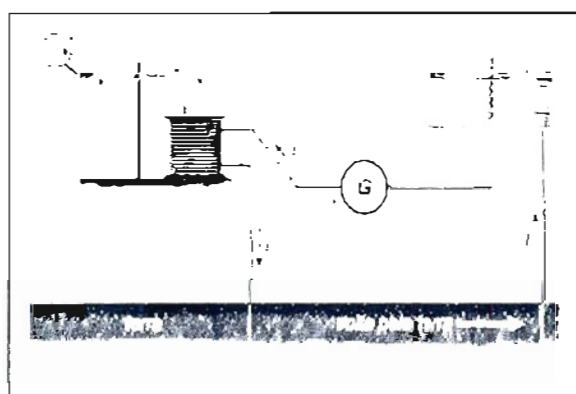


Figura 20 - Esquema de uma instalação telegráfica

<http://www.cepa.if.usp.br/e->

[fisica/electricidade/basico/cap14/cap14_14.php](http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/electricidade/basico/cap14/cap14_14.php)

Princípio de funcionamento é o seguinte: são colocados em série um gerador G, um eletroímã e um interruptor C. Esse interruptor tem uma mola M que mantém o circuito aberto. Para fecharmos o circuito precisamos apertar o "botão" B do interruptor. Quando um operador fecha o circuito em C, o eletroímã atrai a sua armadura A. Então a haste AD gira ao redor do ponto O, e um estilete, colocado em D, encosta em uma fita de papel que se desenrola de um cilindro P. Esse estilete fica encostado no papel durante todo o tempo em que o interruptor C permanecer fechado. Assim, se fechar o interruptor por um instante, aparecerá na fita de papel um ponto. Se fechar C por algum

tempo aparecerá na fita um traço. Como se sabe, em telegrafia as letras do alfabeto são representadas por combinações de traços e pontos (código Morse). Assim, um observador, atuando no interruptor C pode mandar uma mensagem a outro colocado à distância muito grande.

Nas instalações telegráficas, em vez de se usarem dois fios para a condução da corrente, uma para ida e outro para volta, usa-se um só, o outro fio é substituído pela terra. Como esta é condutora, transporta corrente de uma estação à outra, bastando para isso ligar as extremidades do circuito à terra, como indica a figura (20).

5- Galvanômetros

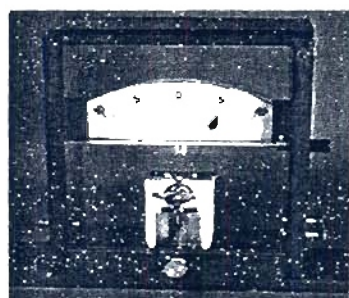


Figura 21a) Galvanômetro montado b) Galvanômetro de D'Arsonval

http://fisica.ufpr.br/viana/fisicab/aulas2/a_17.htm

Em muitos galvanômetros a parte móvel é uma bobina, mas pode ser também um ímã permanente. Quando a bobina é móvel e o ímã fixo, o movimento do ponteiro, acoplado à bobina, ocorre da seguinte maneira: o ímã permanente cria um campo magnético na região da bobina e a corrente elétrica nela fica sujeita a uma força magnética. O giro da bobina resulta de um binário de forças que surge nesta, e que tenderá a orientá-lo na direção do campo magnético produzido pelo ímã permanente.

Como as forças que constituem este binário são proporcionais à corrente elétrica na bobina, a posição do ponteiro varia de acordo com a intensidade de corrente. O torque produzido pelas forças magnéticas, é compensado pelo torque exercido pela força

elástica da mola, que segura o ponteiro, na situação de equilíbrio deste, indicando uma leitura numa escala pré-calibrada. Ver figura 21 b.

[http://fisica.ufpr.br/viana/fisicab/aulas2/a_17.htm,2005]

3. 5 Experiência III – Indução Magnética

1º Etapa – Apresentando o Fenômeno

a) Um Solenóide e um ímã:circuito fechado, ímã móvel que produz campo magnético variável. Movemos um ímã no interior de uma solenóide e observamos o galvanômetro.

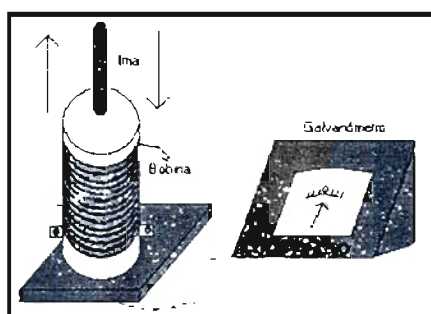


Figura 22 a) - Esquema do aparecimento da corrente elétrica induzida

b) Conjunto utilizado para esta experiência

b) Dois solenóides: Aplica-se tensão que gera uma corrente na primeira bobina (primária) e deixa-se a outra bobina próxima (secundária). Observamos o que ocorre no galvanômetro que está ligado a segunda bobina.

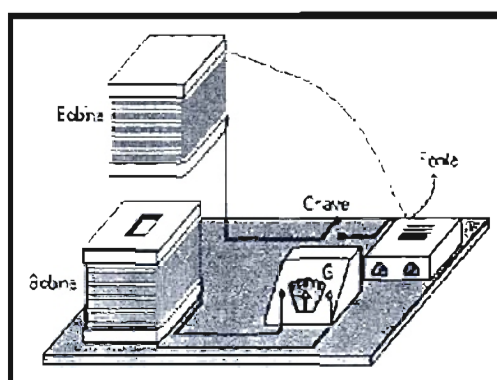


Figura 22 b-Esquema da corrente induzida em uma segunda bobina

2ª Etapa – Observação do Fenômeno

Na primeira experiência os alunos observaram que o simples fato de mover um ímã próximo a uma bobina podíamos detectar corrente nela. Na segunda experiência quando passamos uma corrente elétrica variando com o tempo, em uma bobina, foi possível observarmos que uma corrente aparecia na segunda bobina. A partir daí, fizemos as perguntas pertinentes ao processo.

- 1) O que aconteceu quando aproximamos um ímã próximo do solenóide?

Respostas: A maioria da turma respondeu que houve um movimento do ponteiro do galvanômetro. Mas não associaram a variação de campo magnético, isto é, ao movimento do ímã.

- 2) O que acontece quando afastamos o ímã do solenóide?

Respostas: Alguns alunos responderam que houve um movimento no sentido oposto do inicial. Acharam que era apenas devido ao fato do ímã está próximo ou afastado.

- 3) Na segunda experiência, o que aconteceu quando colocamos corrente alternada na primeira bobina?

Respostas: A maioria da turma respondeu que o ponteiro do galvanômetro, ligado na segunda bobina se movimentou. Outros disseram que era devido ao campo magnético.

Ficou claro que os alunos não costumam associar que quando duas bobinas estão próximas uma da outra, uma corrente variando numa das bobinas pode induzir uma f.e.m. dada pela lei de Faraday na outra. Fenômeno este denominado indução mútua.

3º etapa – Analisando os Conceitos

3.5-1 Fluxo Magnético ou Fluxo do Campo B

Consideramos um contorno que define uma superfície plana de área A , atravessado pelas linhas de indução de um campo magnético uniforme B .

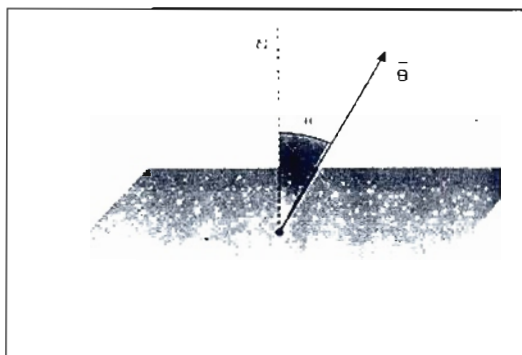


Figura 23 Mostra o fluxo de um campo magnético ϕ através de uma superfície de área A . [Máximo, 2000]

Seja (θ) o ângulo formado pelo vetor de indução B e pelo vetor N normal à superfície. Definimos o fluxo de indução ou fluxo magnético do vetor B através de uma superfície de área A pela expressão.

$$\phi = B A \cos \theta \quad (\text{unidade no SI: Weber= Wb= T. m}^2) \quad (8)$$

A variação do fluxo magnético depende de três grandezas: B , A e θ , como mostra a relação acima. Se variarmos pelo menos uma dessas três grandezas, conseqüentemente, teremos uma variação do fluxo do campo magnético através da superfície considerada.

3.5-2 A Lei de Faraday

Michael Faraday (1791- 1867), foi um físico e químico britânico, considerado muitas vezes o maior cientista experimental do século XIX. Suas muitas contribuições ao estudo do eletromagnetismo incluem a invenção do motor elétrico, do gerador elétrico e do transformador, além da descoberta da indução magnética, das leis da eletrólise, da descoberta de que o plano de polarização da luz gira pela ação de um campo elétrico.

Toda vez que o fluxo do campo magnético (ϕ) através de uma superfície é, de alguma forma modificado, surgirá no circuito uma força eletromotriz que irá se opor a essa variação. Essa força eletromotriz (f.e.m) induzida (ε) tem seu valor dada pela seguinte relação:

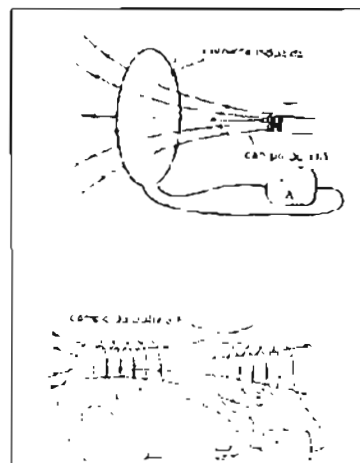
$$\varepsilon = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = R i \quad (9)$$

Onde que $\Delta \phi$ é a variação do fluxo no indutor é Δt é a variação no tempo.

Essa expressão mostra que a força eletromotriz induzida no circuito fechado, que surge em virtude da corrente elétrica induzida para uma superfície fechada, é tanto mais intensa quanto mais rápida for a variação do fluxo no indutor e que se não houver variação de fluxo magnético a corrente é nula.

A lei de Faraday indicada pela relação acima é de extrema importância, pois foi graças à descoberta dessa lei que existe a produção de energia elétrica em usinas hidrelétricas e outras várias aplicações tecnológicas.

Figura 24 – Lei de Faraday (Máximo, 2000)



3.5.3- A Lei de Lenz

Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804 – 1865), foi um físico e químico russo, natural da Estônia. Aos vinte anos, como naturalista, Lenz realizou uma viagem de pesquisa pelo mundo. Estudou as diferentes características físico-químicas dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico explicando as causas das diferentes taxas de salinidade de cada um. O relato de suas pesquisas valeu o seu ingresso com membro da Academia de Ciências de São Petersburgo em 1828.

A partir de algumas informações sobre os experimentos de Faraday, Lenz reproduziu-os e complementou esses experimentos com a lei que leva o seu nome, publicada em 1834. A importância da descoberta de Lenz não se restringe ao eletromagnetismo, pois a sua lei permite a compreensão do princípio da conservação da energia que, na época, ainda não havia sido formulado.

Na realidade a lei de Lenz pode ser obtida aplicando-se ao princípio da conservação de energia. Sabemos que a atuação do campo magnético variável num circuito fechado induz uma corrente elétrica. Discutiremos agora o sentido da corrente.

O sentido da corrente induzida é tal que ela origina um fluxo magnético induzido que se opõe à variação do fluxo magnético que originou a corrente elétrica induzida.

Explicando melhor o que foi colocado acima, quando aproximamos o pólo norte magnético de uma espira cresce o fluxo indutor dentro da espira. Para contrariar essa variação (aumento) do fluxo indutor, surge, então, na espira uma corrente induzida que gera um fluxo induzido de sentido contrário ao do fluxo indutor. Com isso, a face voltada para imã fica polarizada magneticamente como mostra a figura 17 a e b.

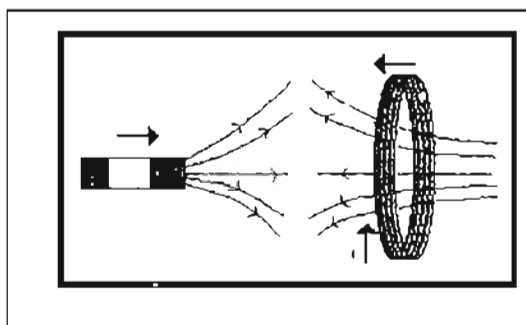


Figura 25a - Ímã se aproximando do anel condutor

Vamos considerar agora o pólo norte do imã se afastando da espira. Nesse caso, o fluxo indutor através da espira diminui. Para contrariar essa variação (diminuição) do fluxo indutor, surge, então, na espira uma corrente induzida que gera um fluxo induzido a favor do indutor.

Esse fluxo induzido se soma ao fluxo do indutor. Em outras palavras, a corrente induzida possui sempre sentido tal que o fluxo total através da espira permanece constante. E mais uma vez a espira se polariza magneticamente.

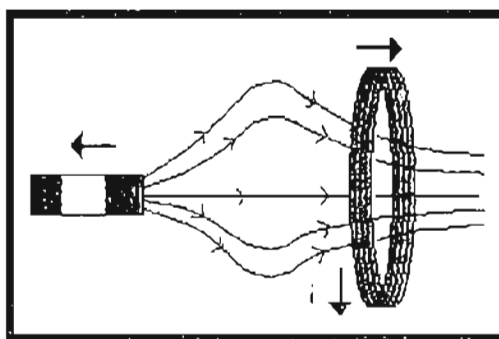


Figura 25 b- Ímã se afastando do anel condutor

É importante observar que nesses dois exemplos, a face do anel voltada para o ímã se polariza magneticamente de modo a dificultar a aproximação ou afastamento, exigindo a realização de algum trabalho. De fato, a energia elétrica gerada não poderia vir do nada. Vemos que o princípio da energia mecânica deve ser obedecido.

4º etapa - Aplicando os Conceitos

a) Transformadores

O transformador é um dispositivo destinado a alterar a tensão e a corrente elétrica nos circuitos de corrente alternada. Embora o eletroímã possa funcionar com corrente contínua, o transformador não funciona com corrente contínua, uma vez que, de acordo com a equação de Faraday a corrente contínua não produz variação de fluxo magnético. Portanto, nós não devemos conectar um transformador numa fonte de corrente contínua.

O transformador é constituído por dois indutores, o primário e o secundário acoplados por um núcleo de ferro, formando um circuito magnético fechado para as linhas de força do campo magnético. O primário recebe a corrente alternada e induz um fluxo magnético alternado no núcleo de ferro. Esse fluxo alternado induz, por sua vez, uma força eletromotriz alternada no secundário.

Na figura 15 indicamos o esquema básico de um transformador. A parte (a) mostra um transformador que eleva a tensão alternada aplicada no primário. Para produzir uma elevação de tensão, é necessário que o número de espiras N_2 secundário seja maior do que o número de espiras $N_1 = 100$ espiras e $N_2 = 200$ espiras, a tensão alternada do primário induzirá no secundário uma tensão alternada duas vezes maior. Seja V_1 a tensão aplicada ao primário e V_2 a tensão induzida no secundário. Desta forma, podemos escrever a seguinte relação:

$$\varepsilon_1 / \varepsilon_2 = N_1 / N_2 \quad (10)$$

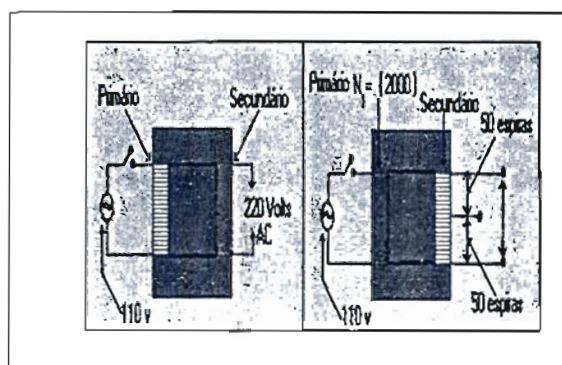


Figura 26.- Esquema básico de um transformador. Na parte (a) da figura, mostramos um transformador que eleva a tensão alternada aplicada no primário, na parte (b) da figura indicamos um transformador que diminui a tensão aplicada ao primário.

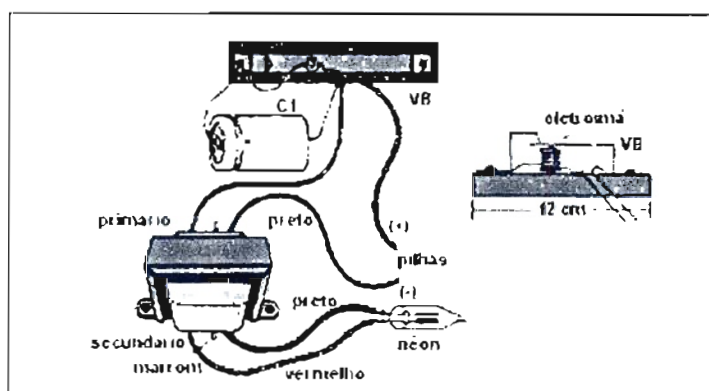


Fig 27 Modelo de um transformador retirado de uma feira de ciências

[http://www.feiradeCiencias.com.br/sala13/13_24.asp, 2005]

Na parte (b) da figura 26 mostra-se um transformador que abaixa a tensão aplicada ao primário. Suponha que a bobina do primário possua $N_1 = 2.000$ espiras e que o número total de espiras do enrolamento no secundário seja $N_2 = 200$ espiras. Nesse caso, a tensão aplicada será dividida por 10, conforme a relação anterior. Se existir uma conexão elétrica no meio do enrolamento secundário, formam-se duas bobinas ligadas em série (cada uma delas com 100 espiras). Nesse caso, a tensão nos terminais do secundário fica dividida ao meio, conforme indicado na parte (b).

Na figura 26 o enrolamento do primário é separado do enrolamento do secundário. Contudo, em muitos transformadores se utiliza um único enrolamento (com fios de espessura diferentes), ou seja, o secundário é enrolado sobre o primário, neste caso, dizemos que se trata de um autotransformador. Um exemplo prático de autotransformador é a bobina do automóvel que eleva a tensão da bateria de 12V até 12.000V.

Note que, em alguns casos, o mesmo transformador tanto pode ser usado para elevar quanto para abaixar a tensão. Por exemplo, o transformador mostrado na parte na figura

15a pode ser usado para transformar a tensão de 110V para 220V. Ao usar um transformador devemos tomar o cuidado com as conexões e nos certificar de que a potência consumida será inferior à potência máxima do referido transformador. Para um transformador ideal a potência média é a mesma, tanto no primário quanto no secundário, ou seja, $V_1 i_1 = V_2 i_2$, onde o índice 1 refere-se ao primário e o índice 2 refere-se ao secundário, os valores indicados na relação são valores efetivos ou valores eficazes.

Os transformadores possuem diversas aplicações na eletrotécnica e na eletrônica. A energia elétrica normalmente é gerada sob forma de corrente alternada com tensões baixas. Um transformador eleva estas tensões baixas para tensões extremamente elevadas (superiores a 300.000 volts). A energia elétrica é transformada em tensões muito elevadas para minimizar as perdas de energia nas linhas de transmissão. Nos locais de consumo, a tensão elétrica é reduzida através de um transformador até atingir o valor de 110 V (para o consumo residencial).

Os transformadores podem ser classificados de acordo com suas aplicações a que se destinam. Por exemplo, existem transformadores de alimentação (fornece as tensões de alimentação necessária aos componentes de um dado aparelho), transformadores de áudiofrequência, radiofrequência e frequências intermediárias, etc. Se o transformador for usado como fonte de corrente, ele recebe o nome de transformador de corrente. O chamado transformador de alta tensão é utilizado para fornecer corrente em tensões muito elevadas. Os transformadores que operam com frequências elevadas não podem conter núcleos de ferro, uma vez que os núcleos de ferro produziram perdas consideráveis; neste caso, possuem núcleos vazios (contendo apenas ar).

Perdas no Transformador

Além das perdas no cobre dos enrolamentos (devidas à resistência), os transformadores e bobinas apresentam perdas magnéticas no núcleo. Perdas por correntes parasitas ou de Foucault: São devidas à condutividade do núcleo, que forma, no caminho fechado do núcleo, uma espira em curto, que consome energia do campo.

Para minimizá-las, usam-se materiais de baixa condutividade, como a ferrite e chapas de aço-silício, isoladas uma das outras por verniz. Em vários casos, onde não se

requer grandes indutâncias, o núcleo contém um entreferro, uma separação ou abertura no caminho do núcleo, que elimina esta perda.

[http://fisica.ufpr.br/viana/fisicab/aulas2/a_17.htm]

Essas perdas são proporcionadas pelo aparecimento das correntes de Foucault ou correntes parasitas que são induzidas num condutor quando um fluxo magnético atravessa um condutor. Como o ferro é um condutor, essas correntes de Foucault podem surgir no interior do núcleo de ferro dos indutores e transformadores. Para evitar esta perda de energia (em virtude do aquecimento por efeito Joule provocado pelas correntes de Foucault), não se utiliza um *núcleo de ferro maciço*. Os núcleos dos indutores, dos eletroímãs e dos transformadores são constituídos por finas lâminas de ferro recoberto com um verniz isolante.

a) Fonte de Tensão Variável

Funciona com transformador que permite podemos variar sua voltagem.

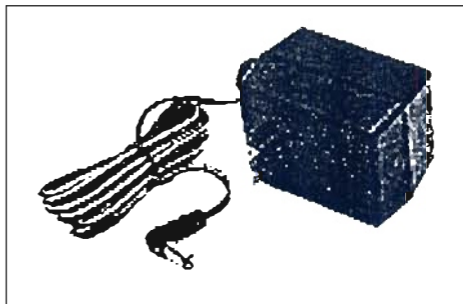


figura 28. Fonte de Tensão Variável

[<http://musictechbrasil.com/pedais/wahwahreplacement/ecb03.htm>, 2005]

b) Dínamo de Bicicleta

No dínamo de bicicleta e também nos geradores da maioria das usinas hidrelétricas a parte fixa (estator) é constituída de enrolamentos, onde a corrente elétrica vai ser gerada, e na parte móvel (rotor) encontra-se o elemento que cria o campo magnético.

O dínamo de bicicleta é constituído basicamente de um ímã permanente, localizado no rotor, e de bobinas que compõe o estator. A compreensão do processo de produção de corrente no dínamo e nas usinas hidrelétricas requer o conhecimento de uma das leis

fundamentais do eletromagnetismo: a lei de Faraday. No dínamo não há contato físico entre as partes fixa e móvel. Entretanto isso não significa que elas não possam se influenciar mutuamente. Como diz Paulinho da Viola, é preciso lembrar que “a vida não é só isso que se vê, é um pouco mais, que os olhos não conseguem perceber..”. No caso do dínamo, esse algo mais, invisível, mas real, é o campo magnético, no qual os enrolamentos fixos estão imersos. Deste modo, por meio do campo magnético as partes fixas e móvel do dínamo podem se “comunicar”.

Para facilitar a discussão do fenômeno físico da geração de corrente elétrica pelo dínamo de bicicleta (fig 29.a), vamos representá-lo esquematicamente por um ímã colocado entre duas espiras tal como ilustra a fig 29.b. Conforme discutimos na parte do breve histórico, o ímã possui um campo magnético à sua volta, que pode ser representado por linhas de campo. Fig 29.c. (GREF,2000)

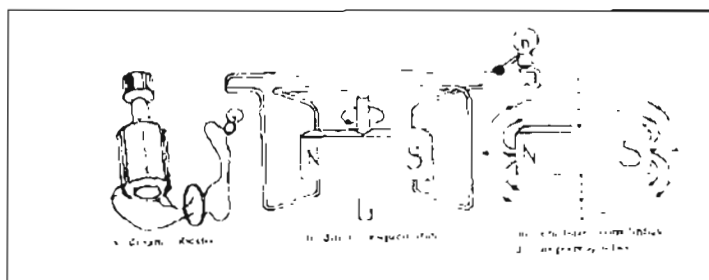


Figura. 29 a, b e c. Dínamo de uma bicicleta [GREF, 2000]

O campo magnético de um ímã parado varia de ponto para ponto do espaço, mas em cada um desses pontos ele permanece constante no tempo. Quando o ímã é girado, como acontece com a parte móvel do dínamo de bicicleta, ele carrega consigo as suas linhas de campo. Neste caso, o campo magnético num certo ponto do espaço passa a variar com o tempo. Essa variação gera um campo elétrico que agindo sobre os elétrons livres do circuito produz uma corrente elétrica que se manifesta com o acendimento da lâmpada [GREF, 2000].

c) Motor de Indução.

Os motores elétricos são espiras imersas em um campo magnético que com a passagem de corrente elétrica, ao criarem um campo magnético, faz aparecer um torque devido a atração e repulsão dos pólos magnéticos entre os dois campos magnéticos.

Os pequenos motores, utilizados, por exemplo, em brinquedos e aparelhos de som, produzem movimento de rotação de um eixo a partir de energia elétrica. Estes mesmos motores, quando têm energia mecânica fornecida ao eixo, transformam-se em geradores, produzindo energia elétrica suficiente para acender um led, por exemplo.

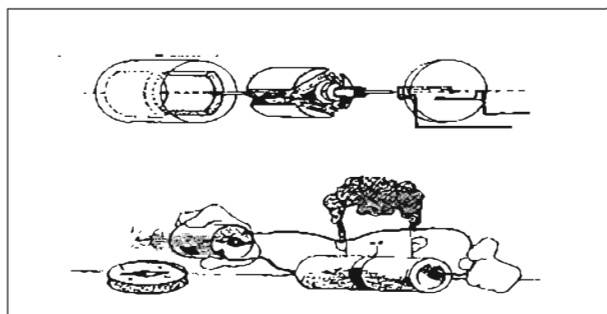


figura 30. Esquema do movimento do eixo de um motor transformando energia elétrica em energia mecânica de rotação. [GREF, 2000]

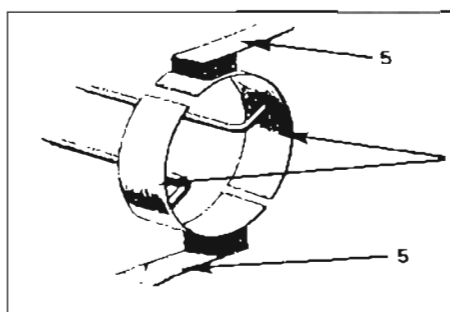
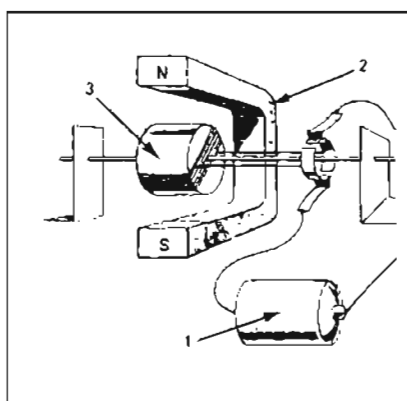


Fig 31. Esquema do princípio do funcionamento de um motor básico de corrente contínua [Biscuola, 2001]

Estes pequenos motores apresentam as seguintes partes:

- 1- Pilha.
- 2- Ímã permanente (estator).
- 3- Núcleo de ferro laminado, com bobina (rotor).
- 4- Anel condutor dividido em duas partes (comutador).

5- Condutores em contato com o comutador (escovas).

No motor da figura, o estator é o ímã permanente que cria o campo magnético. O rotor, por sua vez, consiste de núcleo recoberto por uma bobina de fio de cobre esmaltado (isolado) feito de ferro para intensificar o vetor indução magnética através dele. Isto ocorre porque o ferro tem elevada permeabilidade magnética.

A função da pilha é gerar uma corrente contínua que circule na bobina através do circuito fechado pelas escovas e pelo comutador. Quando essa bobina passa pela posição de equilíbrio estável, o comutador provoca a inversão do sentido da corrente, fazendo a rotação prosseguir no mesmo sentido, o que deverá ser verificado pelo leitor.

Na verdade, um motor de corrente contínua não é apenas isso. São feitos vários enrolamentos, em planos diferentes, para melhor aproveitar os efeitos máximos de rotação e para dar maior uniformidade ao movimento de rotação. O *motor elétrico* produz a rotação de um *rotor (energia mecânica)* às custas da força magnética produzida pela ação da corrente elétrica, mediante intervenção da lei de Faraday.

A preferência pela utilização de corrente alternada sobre corrente contínua, além da maior potência e robustez, muitos motores de corrente alternada, como motores de indução, giram sem nenhum contato elétrico direto, o que lhes dá enorme durabilidade, podendo funcionar ininterruptamente durante dias, com desgaste e consumos mínimos, como os ventiladores pequenos, o que seria inimaginável para motores de corrente contínua, que exigem comutadores e escovas de contato direto como mostra a figura 23. [Biscuola, 2001]

3.6- EXPERIÊNCIA IV - INDUÇÃO EM METAIS

Demos mais ênfase a esta parte da indução eletromagnética, pois é a menos conhecida. Montamos três experimentos para ilustração deste fenômeno.

1º Etapa – Apresentação do Fenômeno

a) Freio Eletromagnético

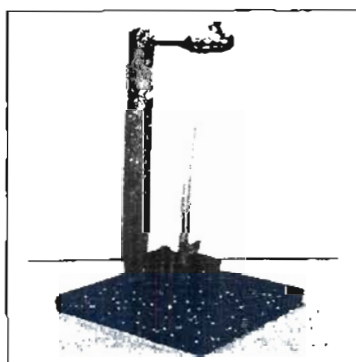


Figura 32 – Freio Magnético

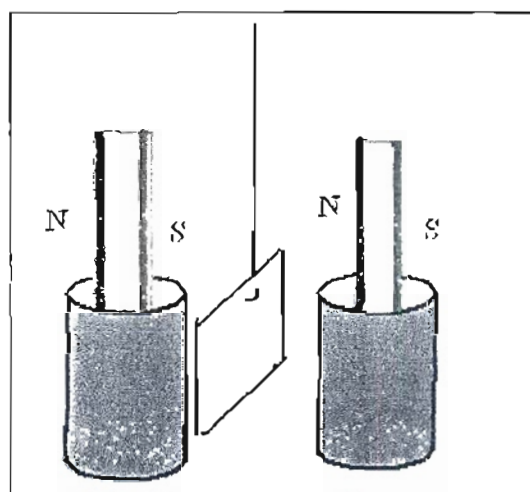


Figura 33- Esquema dos ímãs

Material Utilizado:

Um eixo de metal

Haste de alumínio com uma das extremidades com rosca externa

Um anel com diâmetro um pouco maior que o eixo utilizado e com furo lateral com rosca interna do tamanho da haste.

1 parafuso

Dois ímãs em barras de alnico

Base de madeira

Suporte para o pêndulo (pode ser feito de madeira). A altura depende da haste de alumínio.

Duas placas de alumínio (Uma sem fendas e a outra com fendas).

Dois potinhos de filme para colocar os imãs.

Procedimento:

Prenda o suporte na base. Na extremidade do suporte introduza o eixo. Coloque os dois anéis. No primeiro atarraxe a haste e no outro coloque um parafuso para prender o anel na haste, de forma que a haste não possa sair, mas que possa oscilar livremente.

Prenda na outra extremidade da haste a placa metálica inteira. Cole os dois potinhos na base de modo que fiquem próximos da placa metálica. Coloque o sistema para oscilar. Coloque os imãs nos potinhos de forma que fiquem com polaridades diferentes face a face.

Utilização do Experimento

- Erga o pêndulo, sem colocar os imãs e solte-o.
- Faça oscilar a placa sem cortes, observe o efeito.
- Coloque os imãs com as polaridades indicadas na figura e faça oscilar a placa sem cortes, observe o efeito.
- Utilize agora, a placa com cortes (fendas) oscilando entre os imãs, observe o que acontece.
- Procure explicar as diferenças de amortecimentos entre as duas placas (palavras chaves Correntes de Foucault).

2º Etapa – Observação do Fenômeno

- 1) O que acontece com o movimento do pêndulo à medida que ele oscila, sem os imãs colocados?

Respostas: A maioria da turma respondeu que o movimento do pendulo se reduzia após algum tempo. Fizeram associação a um pêndulo simples comum.

- 2) O que acontece com o movimento do pêndulo à medida que ele oscila, com os imãs colocados?

Respostas: A maioria da turma respondeu que o movimento do pendulo se reduzia rapidamente. Não souberam explicar o porquê. Falaram que a diferença estava no campo magnético entre os imãs. Mas não fizeram associação com o movimento da placa de alumínio no campo magnético.

- 3) Trocamos a placa de alumínio pela placa com cortes e após fazermos o pêndulo oscilar, perguntamos aos alunos o que aconteceu com o movimento?

Respostas: A maioria da turma respondeu que o movimento do pêndulo se mantinha durante mais tempo, mas não conseguiram perceber porque a placa cortada não era afetada pelo campo magnético.

Ficou evidente que os alunos não costumam relacionar o amortecimento das placas com o surgimento da corrente induzida em metais, apesar das experiências anteriores com bobinas.

3º Etapa - Analisando os Conceitos

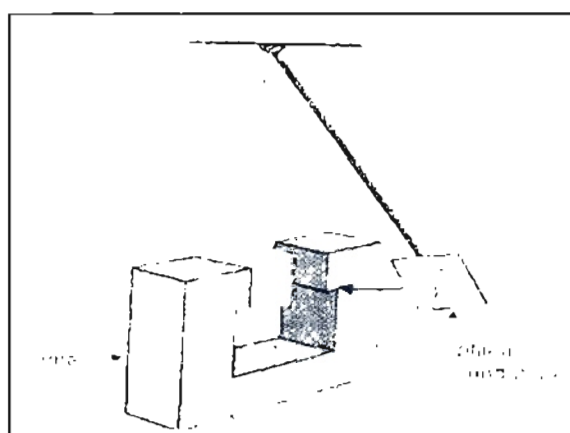
Indução de Corrente em Superfície Metálica

Correntes de Foucault --- recebem esse nome e também de 'correntes parasitas', as correntes elétricas que aparecem em massas metálicas, como consequência da variação de fluxo que as atravessam. Em outros idiomas, tais correntes elétricas em trajetórias imprecisas têm denominações equivalentes a 'correntes em rodadoiro ou

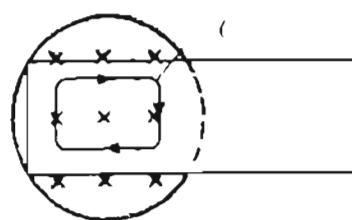
turbilhonares' (eddy currents, wirbelströme)

Essas correntes, vantajosas em alguns casos, são nocivas em muitos outros, porque podem acarretar grande dissipação de energia e, sobretudo, porque elevam a temperatura das peças metálicas (dentro das quais se originam) ocasionando, por vezes, a destruição de partes de aparelhos. A razão disso é que sua intensidade é alta, devido ao fato de que a resistência ôhmica dessas massas metálicas é pequena; o efeito Joule incumbe-se de propiciar uma grande elevação da temperatura.

http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_32.asp.2005



B para tras



b) Correntes de Foucault na chapa condutora variável
[http://www.dee.ufc.br/~dougbr/proj_final/4-CAPITULO2.pdf]

(Figura 34 a) Oscilação do pêndulo sendo amortecida quando a placa condutora passa pelo interior do campo magnético.[Gaspar, 2000]

As correntes induzidas não se formam apenas em espiras, mas aparecem também em placas condutoras que atravessam as linhas de um campo magnético.

Quando um corpo metálico oscila, cruzando o entreferro de um ímã ou eletroímã, ocorre uma variação de fluxo através dele, ocasionado por uma variação de área. Essa variação de fluxo magnético induz uma f.e.m. (força eletromotriz) no corpo, que determina, por sua vez, o aparecimento de uma corrente elétrica em sua massa. Essa corrente induzida gera um novo campo magnético que se opõe ao campo magnético indutor (lei de Lenz) isto é, 'a medida que a placa atravessa a região onde se concentrem as linhas do campo

magnético do imã, variam as regiões da placa atravessadas pelas linhas do campo. É como se uma infinidade de pequenas espiras, uma atrás das outras, estivessem atravessando o campo magnético. E pela lei de Faraday, em cada uma dessas espiras, aparece uma força eletromotriz induzida. E, pela lei de Lenz, essas forças eletromotrizes induzidas geram correntes induzidas, como se fossem remoinhos, que se opõem ao movimento da placa.

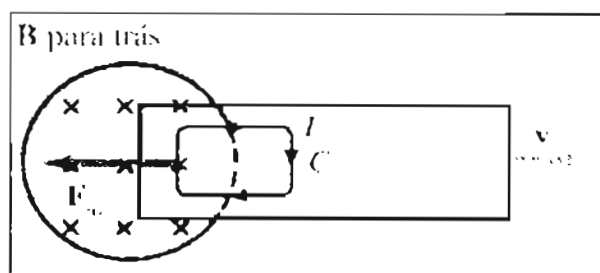
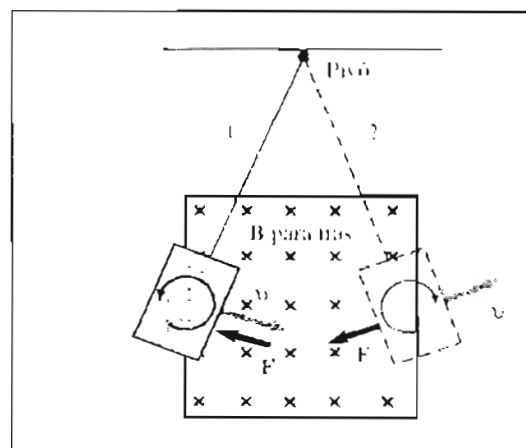


Figura 35 – a) Demonstração das correntes de Foucault quando a chapa metálica atravessa as linhas do campo magnético b) as linhas nas chapas do freio magnético. Na figura está indicado apenas um circuito entre muitos outros fechados que podem conduzir correntes, se o campo magnético entre as peças polares do eletroímã for variável. [http://www.dee.ufc.br/~dougbr/proj_final/4-CAPITULO2.pdf]



Uma forma de demonstrar a existência dessas correntes induzidas é utilizar outra placa igual, mas com fendas, como um pente, que reduzem a área das espiras formadas pelas correntes de Foucault, como mostra a figura a seguir.

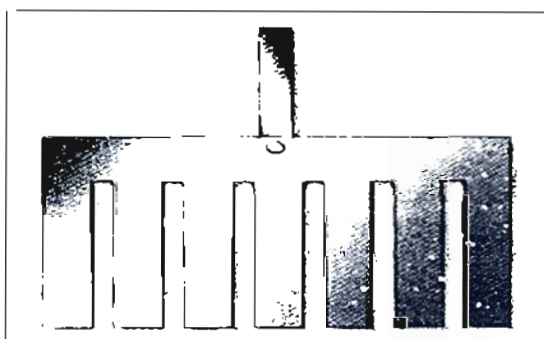


Figura 36 - Quando a placa condutora tem cortes, como pente, o amortecimento é muito menor.

O espaço entre as fendas reduz a área da placa que atravessa o campo, reduzindo o fluxo e conseqüentemente a força eletromotriz induzida. O campo magnético que se opõe ao movimento do pêndulo será menor e conseqüentemente o amortecimento das oscilações.

4^o Etapa- Aplicando os Conceitos

a) Anel Saltador

Montagem do Anel Saltador

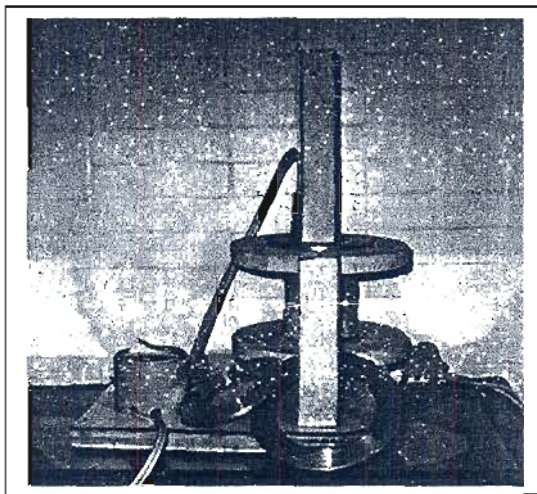


Fig 37. Anel Saltador

Material Utilizado

Uma Bobina de 300 espiras de fio esmaltado de cobre de 1,2mm de diâmetro;

Um tubo PVC de 40 mm de diâmetro e 60mm de comprimento (Gastamos um total de 40m de fio para enrolar a bobina);

Um núcleo de ferro soldado em U com 6 cm (tirado de um transformador velho). Para melhor resultado o núcleo deve estar laminado, isto é, o núcleo é composto de várias camadas de ferro.

Um núcleo de ferro de 10 cm soldado em uma das extremidades do núcleo em U;

Um interruptor de botão, tipo de campainha;

Dois ou três Anéis de alumínio de diferentes diâmetros e espessuras;
Uma base de madeira.

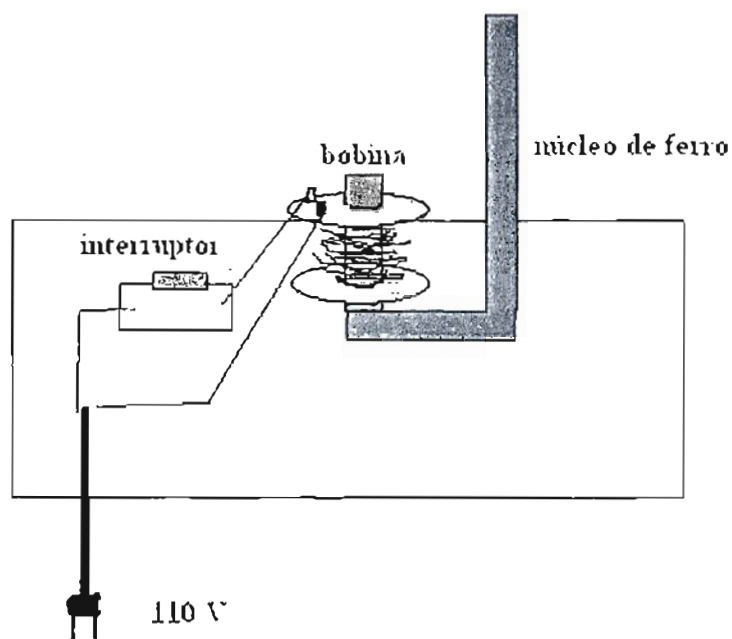


Figura 38– Esquema de montagem do anel. No nosso anel colocamos dois calços na parte inferior da bobina para fixá-la melhor.

Observação: Cuidado!!! Os anéis pulam muito alto, afaste-se um pouco da mesa para observar o resultado.

Utilização:

- Passe um dos anéis inteiriços pela bobina.
- Aperte então o interruptor e solte-o rapidamente para evitar aquecimento da bobina e observe o efeito.
- Repita os procedimentos com outros anéis e observe as diferenças de alturas dos saltos.

O anel de Thompson, ou vulgarmente anel saltador, é essencialmente um transformador de núcleo aberto no qual a bobina secundária se reduz a uma única espira de fio grosso. Na realidade, é um anel metálico, normalmente de alumínio de paredes grossas.

Quando a bobina primária (250 ou 300 espiras de fio de cobre esmaltado para corrente de 5 a 10 A) está conectada à rede elétrica (110 V), a corrente induzida na bobina secundária (anel metálico de parede grossa) é muito intensa e gera um forte campo magnético em seu interior.

A lei de Lenz aplicada ao sentido dessa corrente justifica a concordância das polaridades desses dois campos (o indutor e o induzido) e a conseqüente força de repulsão que surge no anel, fazendo-o saltar. Obviamente no sistema indutor (núcleo e bobina primária) aparece a reação dessa força de repulsão, comprimindo o sistema contra a mesa.

Por outro lado, podemos observar que os anéis mais grossos (mais pesados também), geram mais correntes induzidas e portanto saltam mais alto, contrariando o senso dos estudantes que apostam no anel mais leve. Quanto maior a largura interna do anel, e conseqüentemente maior afastamento da fonte que induz o campo magnético, menor é o efeito do salto. Anéis com corte não saltam, pois diminuem o número de correntes induzidas. É interessante, também observar o que ocorrerá quando o anel de alumínio (material mais utilizado) é resfriado em nitrogênio líquido. Tal resfriamento aumenta substancialmente a condutividade do material do anel, a corrente induzida adquire valores especialmente notáveis e o anel congelado saltará muito mais alto.

http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_32.asp

b) Correntes em Canos de Alumínio

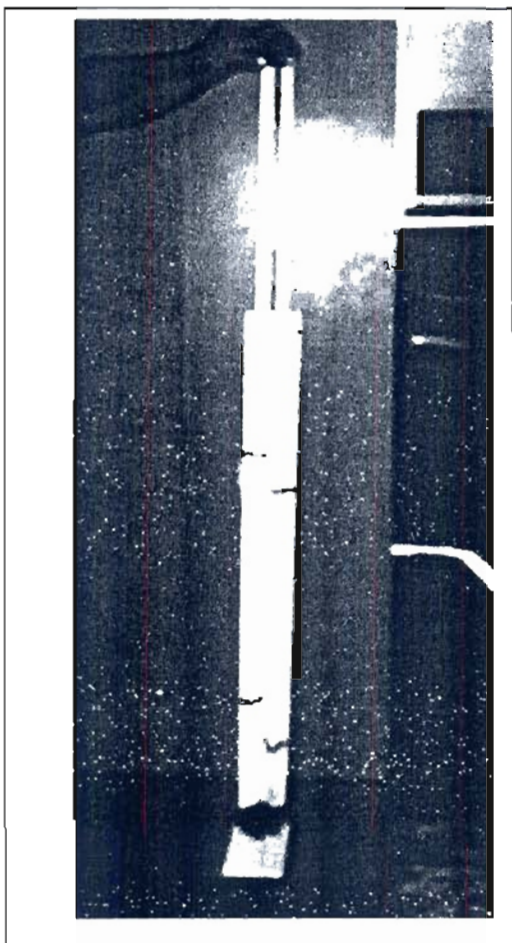


Figura 39 – indução de correntes em canos de alumínio

Material:

- Uma base de madeira de 10x20 cm;
- Suporte de madeira de 10x150 cm;
- 2 m de cano de alumínio de $\frac{1}{2}$ " ,
- 2 m de cano PVC de $\frac{1}{2}$ " ;
- 4 braçadeiras para canos de $\frac{1}{2}$ " ;
- parafusos;
- 1 imã retangular pequeno;
- 1 tarugo de madeira de igual formato do imã;
- 1 recipiente para coletar os tarugos (fizemos de

fundo de garrafa pet);

um pedaço de espuma fina (que vem em embalagens de placas de computador)
tinta;

Montagem:

Prendemos a base no suporte de madeira com parafusos;

Prendemos os canos paralelamente no suporte com as braçadeiras a uma distância de 15 cm da base;

Pintamos o conjunto para que os canos não possam ser reconhecidos;

Colamos o recipiente na base na direção dos canos. E colocamos dentro dele a espuma para amortecer as quedas dos tarugos.

Utilização do Experimentos:

Primeiramente soltamos os tarugos: imã no cano de PVC e o tarugo de madeira no cano de alumínio e pedimos para os alunos observarem o tempo de queda. (igual)

Na segunda fase invertemos os tarugos: imã no cano de alumínio e Madeira no cano de PVC. Pedimos para os alunos observarem se de fato os tarugos caem em tempos iguais.

É observado que o imã demora mais a cair.

Solicitamos aos alunos a explicação dando acesso ao experimento, para que descubram que um tarugo é um imã e um dos canos de metal. Fazemos posteriormente analogia com o anel saltador e o freio magnético.

Quando o imã cai (variação de fluxo magnético) sobre a ação da gravidade, no tubo de alumínio correntes são induzidas. Estas correntes, por sua vez criam um campo magnético contrário a força gravitacional, reduzindo a aceleração do imã na queda.

4 –CONCLUSÃO

Um dos objetivos deste trabalho foi tentar mostrar as diferentes metodologias e abordagens no ensinamento do processo de aprendizagem do fenômeno de indução magnética no ensino médio.

Realizamos esta tarefa de maneira seqüenciada, inicialmente, discutimos com a turma um breve histórico sobre indução magnética, e logo após, apresentamos cada experiência com as etapas de observação, análise, teoria e aplicações o que nos permitiu obter um resultado dentro de nossas expectativas pedagógicas.

Evidentemente, nossa proposta não foi fácil de ser executada, pois encontramos várias dificuldades em colocar em prática nossa proposta pedagógica de ensino, principalmente, na aquisição dos materiais para a montagem dos experimentos, mencionamos este fato, pois tivemos que pesquisar material de baixo custo em diversos lugares.

Elaboramos uma pesquisa de campo através de um questionário com perguntas relacionadas com os dispositivos tecnológicos modernos eletromagnéticos, percebemos através das respostas que, embora tenhamos uma vasta aplicabilidade dos dispositivos eletromagnéticos, as pessoas não têm a mínima preocupação em buscar informações a respeito deste assunto. Isso é lamentável, pois num mundo na qual as velocidades das informações estão em constante transformação, este tipo de pensamento é retrógrado.

Sugerimos diversas aplicações tecnológicas que pudessem motivar o aluno. É claro que existem uma série de outros aplicativos, porém, nos prendemos aos mais interessantes os quais fazem parte da realidade cotidiana do aluno. Essas experiências podem ser reproduzidas pelos alunos, até mesmo, por outros professores que tiverem interesse em propor esse tipo de atividade experimental.

Portanto, é de grande valia ressaltar que, quando trabalhamos atividades experimentais, utilizando um dispositivo moderno, dentro do mundo cotidiano dos alunos, despertamos a motivação, a curiosidade, a observação e o senso crítico obtendo melhores resultado.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Biscuola, G. J.; Boas, N.V.; Doca, R.H. *Tópicos da Física: Eletricidade*. Vol.3, editora Saraiva, São Paulo, SP, 2001

Brasil, Ministério da Educação, *LDB nº 9394*, Brasília, 1996.

Brasil, Ministério da Educação, *Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio*.

(PCNEM) MEC/ SEMTEC, 1998.

Gaspar, A., *Experiências de Ciências para o Ensino Fundamental*. Editora Ática. 2000

Gaspar, A., *Física. Eletromagnetismo, Física Moderna*. Vol. 3, Editora Ática, São Paulo, SP, 2000.

GRF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, volume 3, *Eletromagnetismo*, Editora Edusp, 2000.

Gualter & André, *Física*, Vol. Único. Editora Saraiva, 2001

Guimarães L. A..M. e Fonte Boa, M. C.; *Física Eletricidade e Ondas*: Vol 3 Editora Futura, Niterói, 2001 – RJ.

Halliday, Resnick, Walker. *Fundamentos de Física*. Quarta Edição, Vol.3, Editora LTC, Rio de Janeiro, RJ, 1996.

Kittel, C.; *Introdução a Física do Estado Sólido*; Editora Guanabara Dois S.A – RJ- Vol. 5; 1978.

Ladif. Roteiro de Experiência de Eletromagnetismo. UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2005.

Máximo, A., Alvarenga, B. , *Curso de Física*, Editora Scipione. vol 3

Paraná, D .N. *Física*. Volume Único. Editora Ática, São Paulo, 1994.

Wataghin G., *Eletromagnetismo e Óptica*, Editora Universidade de Campinas, 1974.

Sites Pesquisados

- Cabos coaxiais - Energibrás, <http://www.energibras.com.br/inicial1.asp>, [25/08/2005]
- http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_24.asp [25 / 10 /05]
- Blindagem, <http://www-seme.dee.fct.unl.pt/ProjectoRodolfoOliveira/RelatorioFinal.pdf>
[25 / 10 / 05]
- http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/eletricidade/basico/cap14/cap14_14.php
[25 / 10 /05]
- http://fisica.ufpr.br/viana/fisicab/aulas2/a_17.htm [27/ 10 / 05]
- <http://www.siemon.com/br/whitepapers/10G-Assurance.asp> [08/11/ 05]
- http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_32.asp [08 / 11/ 05]

ANEXO I

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Trabalho de Instrumentação

Questionário sobre o fenômeno indução eletromagnética

Área:

Curso:

1) Você já ouviu falar de Indução Eletromagnética?

2) Quais os dispositivos relacionados com esse fenômeno que você conhece?

3) Como funciona o cartão Magnético?

4) Você sabe como funcionam as fitas magnéticas?

5) Como funciona o freio magnético?

6) Você já ouviu falar de levitação magnética? Se já, referente a que?
